

Erkki Kettunen

AIRTECH-TULOILMAJÄRJESTELMÄ JA MUUT
ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT OMAKOTITALOSSA

Insinöörito

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Tekniikan ja liikenteen ala

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Kevät 2006



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

**OPINNÄYTETYÖ
TIIVISTELMÄ**

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	Koulutusohjelma Rakennustekniikka
Tekijä(t) Kettunen Erkki	
Työn nimi Airtech-tuloilmaikkunan ja muiden ilmanvaihtojärjestelmien energiataloudellinen tarkastelu pientaloissa	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot	Ohjaaja(t) Allan Mustonen
	Toimeksiantaja
Aika 20.3 2006	Sivumäärä ja liitteet 100
Tiivistelmä Ilmanvaihto on tärkeä osa asumista. Se luo edellytykset terveelliselle sisäilmastolle. Tässä insinöörityössä esitellään Airtech-tuloilmaikkunajärjestelmä ja vertaillaan eri ilmanvaihtojärjestelmiä energiataloudellisuuden, hankinta ja asennuskustannuksien osalta omakotitalossa. Tutkimuksissa havaittiin, että eri ilmanvaihtojärjestelmien välillä ei ole merkittävää eroa omakotitaloissa energiankulutuksen kannalta taloudellisessa mielessä. Kuitenkin kaikilla osa-alueilla lämmön talteenotolla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto osoittautui muita edullisemmaksi. Suurin vaikutus ilmanvaihdon energian kulutukseen ja ilmanvaihdon toimivuuteen havaittiin olevan asukkaiden elintavoilla. Myös riittämätön tieto ilmanvaihdon eri tehoalueista ja niiden säätötavoista heikensi sisäilman laatua merkittävästi. Käytönopastaminen on tärkeä osa-alue ja helposti korjattavissa pienin panostuksin.	
Suomi	
Asiasanat	Airtec-tuloilmajärjestelmä, ilmanvaihto, energiataloudellisuus
Säilytyspaikka	<input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Construction Engineering
Author(s) Kettunen Erkki	
Title The Airtech Air Inlet Window and Other Ventilation Systems in Low-Rise Houses	
Optional Professional Studies Facility Management	Instructor(s) Allan Mustonen
	Commissioned by
Date 20 March 2006	Total Number of Pages and Appendices 100
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to map out energy consumption of different ventilation systems in low-rise houses. The ventilation systems were the Airtech air inlet window, the heat recovery device and natural ventilation. The installation expenses of the Airtech air inlet window and the heat recovery device were compared.</p> <p>The consumption of energy was calculated with the help of diagrams. The installation costs were asked from the manufactures. The result was that the heat recovery device wastes least energy. The installation work was also slightly cheaper.</p> <p>The most cost-effective ventilation system in low-rise houses seems to be the heat recovery system. It was useful to find this out because people usually believe that the heat recovery system is the most expensive one if the installation costs are taken into the account.</p>	
Language of Thesis Finnish	
Keywords Airtech Inlet Window, Heat Recovery Device, Energy, Economic	
Deposited at <input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at University of Applied Sciences Library <input checked="" type="checkbox"/> Library of University of Applied Sciences	

ALKUSANAT

Kiitän henkilöitä, joilta olen saanut virikkeitä tämän insinööriyön suorittamiseen. Suuret kiitokset Tiivituote OY:lle avoimesta tiedotuspolitiikasta ja Kajaanin Rakennuskonevuokraamolle, erityisesti Juha Kähköselä saumattomasta yhteistyöstä ja avusta.

Erkki Kettunen

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	4
KÄSITTEITÄ	6
1 JOHDANTO	7
2 TULOILMAIKKUNAN PROTOTYYPPI	8
2.1 Mittaustulokset ilmamäärille	10
2.2 Vedottomuusmittaustulokset	10
2.3 Kondenssikoe	14
2.4 Ääneneristysmittaukset	13
2.5 Lämpöhäviömittaukset	13
2.6 Raportin yhteenveto	15
3 AIRTECH-TULOILMAIKKUNA	16
3.1 Airtech-tuloilmaikkunan toimintaperiaate	17
3.2 Kuvat ja toimintaselostus	18
3.3 Puhdas ilma tarkkuussuodattimen avulla	23
3.4 Ääneneristävyys- ja ilmamäärätaulukko	24
3.5 Ikkunoiden energiankulutuslaskelma	25
4 LÄMMÖNLÄPÄISYKERROINLASKELMAT	28
5 SISÄILMASTOTUTKIMUKSIA	30
5.1 Tutkimustuloksia	31
5.2 Koekohteiden ilmanvaihdon mittaukset	33
5.3 Merkkiainemittaukset	34
5.4 Sisäilmaston kesäaikainen kosteus ja lämpötilat	35
5.5 Lämpötilan ja kosteuden vuorokausivaihtelu	37
6 KOEKOHTEIDEN ILMANVAIHTOJÄRJESTELMIEN MITTAUKSET	43
6.1 Kertamittaus	43
6.3 Keittiön ilmanvaihto	46
6.4 Makuuhuoneen ilmanvaihto	48
6.5 Äänitasomittaukset	51
6.7 Asukaskysely ja sisäilmasto-ongelmien esiintyvyys	57
6.8 Ilmanvaihtomelu ja sen häiritsevyys	63
7 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ SADAN PIENTALON TUTKIMUKSESTA	66
8 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMIEN VERTAILULASKELMAT	69
8.1 Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä	69
8.2 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	73
8.3 Airtech-tuloilmajärjestelmän käyttö- ja asennuskustannukset	78
8.4 Ilmanvaihtojärjestelmien vertailu	80
9 KENTTÄTUTKIMUKSET	85
10 POHDINTA	91
11 YHTEENVETO	98
LÄHDELUETTELO	100

KÄSITTEITÄ

Ilmanvaihtokerroin	Ilmoittaa kuinka monta kertaa asunnon ilma vaihtuu tunnissa
Hygroskooppisuus	Aineen kyky sitoa itseensä vesihöyryä
Kondenssi	Kosteuden tiivistyminen
Konvektio	Lämmön siirtyminen
U-arvo	Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo ilmoittaa sen lämpömäärän, jonka 1m^2 suuruinen rakennusosa läpäisee tunnissa kun lämpötilaero on $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
Siipipyöränemometri	Mittaa ilman nopeutta, ilmamäärää ja lämpötilaa
Tekes	Tekniikan edistämiskeskus
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus

1 JOHDANTO

Ilmanvaihto on tärkeä osa asumista. Länsimaisista ihmisistä valtaosa viettää sisätiloissa 70–80 prosenttia ajastaan. Hengitämme joka vuorokausi ilmaa vähintään 15000 litraa. Sisäilmalla on huomattava vaikutus ihmisen terveyteen ja viihtyvyyteen. Allergiat ja sisäilmaan liittyvät ongelmat aiheuttavat sekä ihmisille että yhteiskunnalle huomattavia taloudellisia kustannuksia.

Suomen rakentamismääräyskokoelma antaa määräykset ja ohjeet uuden rakennuksen sisäilmalle ja ilmanvaihdolle. Suuri joukko vanhoja pientaloja on edelleen pelkän painovoimaisen ilmanvaihdon varassa. Niiden omistajia mietityttää remonttia suunnitellessaan, mikä vaihtoehto on heidän kannaltaan järkevin ja parantaa heidän talonsa asumisviihtyisyyttä ja on asennus- ja käyttökustannuksiltaan edullisin.

Tässä insinööriyössä esitellään Tiivituote Oy:n Airtech-tuloilmaikkunoiden energiataloudellisuutta ja toimivuutta osana poistoilmanvaihtojärjestelmää.

Samoin eri tutkimusten ja kokeiden avulla esitellään ja vertaillaan eri ilmanvaihtojärjestelmiä toisiinsa omakotitaloissa ja näin omakotitalojen omistajille saadaan selkeä käsitys eri vaihtoehtojen energian kulutuksista sekä hankintakustannuksista ja toimivuuseroista.

2 TULOILMAIKKUNAN PROTOTYYPPI

Tässä luvussa selostetaan VTT:n raporttiin tukeutuen tuloilmaikkunan kehityshanketta.

VTT Rakennustekniikka on teollisuuden ja Tekesin rahoittamassa tutkimuksessa kehittänyt tuloilmaikkunan prototyypin vuonna 1998. Tässä hankkeessa kehitetty tuloilmaikkuna yksinkertaistaa niitä korjausrakentamisen ratkaisuja, joissa ikkunoiden uusimisen yhteydessä parannetaan myös ilmanvaihtojärjestelmää. Tuloilmaikkuna sisältää huoneilman takaisinvirtausta estävän venttiilin, ilmansuodatuksen ja ulkoilmamelun vaimennuksen. Tuloilman lämpeneminen ja tuloilmasuihkun suuntausmahdollisuus vähentävät vedon tunnetta. Lisäksi tuloilman lämpenemisen myötä saavutetaan myös energian säästöä. [1, s.1.]

Terveystensuojelulain mukaan rakennuksen ilmanvaihdon tulee olla sellaista, ettei siitä aiheudu asunnossa tai muissa sisätiloissa oleskeleville terveyshaittaa. Useissa tapauksissa ongelmana on ollut riittävän korvausilman saanti. Tällöin suurin osa tarvittavasta korvausilmasta on tullut rakenteissa olevien vuotokohtien kautta ulkoa tai porraskäytävästä. [1, s.1.]

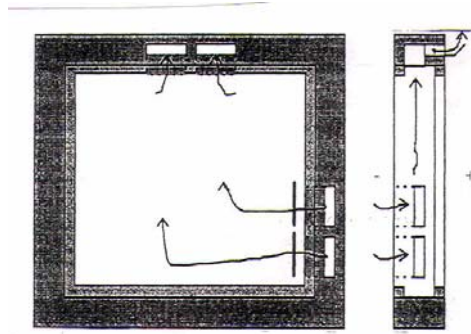
Markkinoilla on ulkoilmaventtiileitä, jotka ovat Ympäristöministeriön tyyppihyväksymiä. Osalla näistäkin venttiileistä on kuitenkin ongelmana tuloilman aiheuttama veto talvella, kun ikkunan alla oleva lämpöpatteri on kytkeytynyt pois päältä auringon lämmittäessä huonetta. Tavallisin syy vetoisuuteen on tällöin ilmavirran suuntautuminen suoraan huoneen oleskelualueelle tai putoaminen lattialle venttiilin lähelle. [1, s.1.]

Aikaisemmassa tutkimuksessa on havaittu, että vähäinenkin ulkoilman lämmittäminen ennen sisään puhallusta vähentää merkittävästi vedon tunnetta

lämmityskaudella. Perinteinen tuloilmaikkuna voi toimia koneellisella poistoilmanvaihdon varustetuissa taloissa ulkoilman esilämmittimenä. Tuloilmaikkunan ongelmana on ollut talvisin ikkunan ulkolasiin tiivistyvä vesihöyry aina, kun rakennuksen sisälle muodostuu vähäinenkin ylipaine ulkoilmaan verrattuna. Tämän vuoksi hankkeessa kehitetty tuloilmaikkuna on varustettu takaisinvirtausta estävällä venttiilillä. [1, s.1.]

Hankkeessa kehitetty tuloilmaikkuna perustuu ulkoilman johtamiseen pystykarmissa sijaitsevan ulkoilmasäleikön ja suodatinyksikön kautta ikkunan sisä- ja ulkopuitteiden väliin. Lasien välissä lämminnyt ilma johdetaan ylemmässä vaakakarmissa sijaitsevan venttiilin ja ohjaussäleikön kautta huonetilaan. [1, s.2.]

Venttiilissä on hyvin kevyt, mutta silti jäykkä vaakasuorassa oleva levy. Venttiilissä ei ole kuluvia osia, kuten saranoita tai tiivisteitä, vaan sen toiminta perustuu sen keveyteen, jolloin levy "leijuu" tuloilmavirrassa. Ilmavirran heiketessä se painautuu painovoiman vuoksi tiiviisti virtausaukkoa vasten. Ikkunan sisäpinnassa olevalla ohjaussäleiköllä voidaan tuloilmasuihku suunnata sivusuunnassa haluttuun kohtaan huonetta. Suihkun lähtökulma on viistosti ylöspäin, kuva 1. [1, s.2.]



Kuva 1. Tuloilmaikkunan prototyyppi

2.1 Mittaustulokset ilmamäärille

Taulukossa 1 on esitetty mitatut ilmavirrat (L/s) eri paine-eroilla tuloilmaikkunan yli.

Taulukko 1.

Paine-ero (Pa)			
Tilanne	5	10	20
A	4,3	8,0	11,8
B	2,5	5,4	8,0
C	3,5	7,2	11,0

Tilanne A: Suodatinluokka EU1. Ohjaussäleikkö on melkein auki.

Tilanne B: Suodatinluokka EU1. Ohjaussäleikkö on lähes kiinni.

Tilanne C: Suodatinluokka EU3: Ohjaussäleikkö on auki.

Taulukosta 1 havaitaan, että käytettäessä EU-luokan suodatinta, joka on ulkoilmaventtiileissä yleisesti käytettävä karkeasuodatin, paine-erolla 10 Pascalia on tuloilmaikkunan kautta kulkeva ilmavirta noin 5,8 L/s riippuen ohjaussäleikön asennosta. Tämä on erittäin hyvä arvo.

Pienillä paine-eroilla venttiili pienentää virtausreitintä aukkoa, jolloin ilmavirta pienenee enemmän kuin kiinteäaukkoisilla venttiileillä. [1, s.2.]

2.2 Vedottomuusmittaustulokset

Vedottomuusmittaukset suoritettiin soveltaen ulkoilmaventtiilien tyyppihyväksyntäohjetta. Mittaukset tehtiin koehuoneessa, joissa oli 3-lasisen tuloilmaikkunan takana ulkoilmastoa jäljittelevä kylmäkammio.

Mittaukset suoritettiin ulkolämpötiloilla 0 °C ja – 20 °C ja sisälämpötilan ollessa 21 astetta. Ulkolämpötilalla -20 °C ikkunan alla sijaitsevaan lämmityspatteriin asetettiin

se lämmitysteho, joka vaadittiin tuloilman lämmittämiseen ulkolämpötilasta sisälämpötilaan. Ulkolämpötilan ollessa 0 °C lämmityspatteria ei lämmitetty. Vetoisuutta mitattiin oleskeluvyöhykkeeltä, joka on se huonetilan osa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta ja sivupinnat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä. Ilman virtausnopeudet ja lämpötilat mitattiin suuntariippumattomilla antureilla 3 minuutin keskiarvona. Mittausten alussa tarkasteltiin tuloilmasuihkun kulkua merkkisavulla, jolloin saatiin käsitys huoneen vetoisimmasta kohdasta. [1, s. 3.]

Ohjaussäleikön avausta säädettiin kussakin mittaustilanteessa sopivimmalla säleiden suuntauksella. Parhaimmat vedottomuustulokset saatiin, kun säleet olivat suunnatut huoneen sivuille, jolloin tuloilmasuihkulla oli aikaa lämmitä oleskeluvyöhykkeen ulkopuolella eli katon rajassa ja sivuseinien pinnoilla ennen kuin se saapui oleskeluvyöhykkeelle. Säleiden suunnan muuttamisella oli selvä vaikutus sekä virtauskuviioon että vedottomuuteen. [1, s. 3.]

Taulukossa 2 on esitetty suurimmat vedottomasti saatavat ilmavirrat. Vedottomuuden raja-arvona pidettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 olevaa vetokäyrää 3 ulkoilmaventtiilien tyyppihyväksyntä-ohjeen mukaisesti. [1, s. 3.]

Taulukossa 2. esitetään tuloilman prototyypin vedottomuusmittaustulokset testiolosuhteissa.

Taulukko 2. Vedottomuusmittaukset [1, s. 3.]

T(ulko) °C	Lämmitysteho w	Ilmavirta L/s	T(tulo) °C	T(ikkuna) °C	V(max) m/s	T(v) °C
0,7	0	6,5	5,2	15,7	0,22	20,8
-20	273	5,5	-8,3	13,0	0,23	21,1

T(tulo)= tuloilman lämpötila ohjaussäleikön kohdalla

T(ikkuna) = ikkunan pintalämpötila keskellä ikkunaa huoneen puolella

V(max) = ilmavirran suurin mitattu nopeus oleskeluvyöhykkeellä

T(v) = ilmavirran lämpötila nopeusmittauksen kohdalla

Taulukosta 2 havaitaan, että vedottomat ilmamäärät ulkolämpötiloilla 0 °C ja -20 °C olivat 6,5 L/s ja 5,5 L/s. Ne ovat erittäin hyviä arvoja ikkunan karmin sijoitettaville venttiileille.

Hyviin tuloksiin vaikutti tuloilmasuihkun suunnattavuus ja ulkoilman voimakas esilämpeneminen lasien välissä. Lisäksi ikkunatyypin oli sellainen, että ikkunalasin pintalämpötila huoneen puolella ei laskenut niin alhaiseksi, että siitä olisi aiheutunut kylmää konvektiovirtausta lattialle. Ulkolämpötilan ollessa -20 °C vedoton ilmamäärä jäi pienemmäksi kuin 0:n °C tilanteessa, mikä on tyypillistä karmin sijoitetuille venttiileille. [1, s. 4.]

2.3 Kondenssikoe

Kondenssikoe suoritettiin soveltaen ulkoilmaventtiilien tyyppihyväksyntäohjetta samassa koehuoneessa kuin vedottomuusmittaukset. Koehuoneen ilman suhteellinen kosteus vaihteli kokeen aikana välillä 25 - 35 %. Ulkolämpötila oli noin -20 °C ja sisälämpötila noin 21 °C. Tuloilmavirta oli sama kuin vedottomuuskokeissa vastaavalla ulkolämpötilalla saatu suurin vedoton ilmavirta eli 5,5 L/s.

Kokeen aikana tarkkailtiin, muodostuuko ohjaussäleikköön vettä tai jäätä sekä valuuko vesi mahdollisesti ikkuna- tai seinärakenteisiin. Noin 20 tunnin kuluttua havaittiin, että ohjaussäleikkö on täysin kondensoimaton eli siinä ei havaittu vettä tai jäätä eikä valumia rakenteisiin. [1, s. 4.]

2.4 Ääneneristysmittaukset

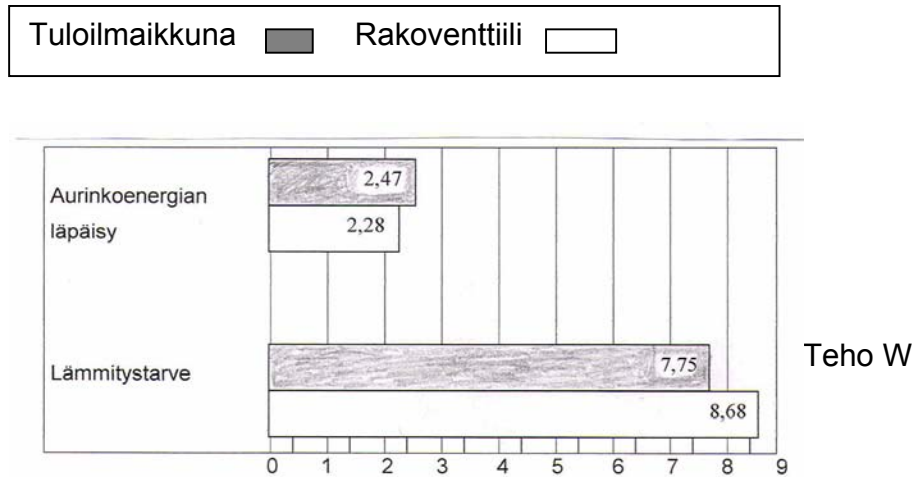
Ääneneristysmittaukset suoritettiin standardin ISO 140-3 mukaisesti VTT:n tutkimushallin kaiuntahuoneessa. Mitä isompi on ilmaääneneristysluku R_w , sitä parempi on ääneneristävyys.

Ääneneristävyysparantamiseksi on tuloilmaikkunan useaan kohtaan lisätty äänenvaimennusmateriaalia. Lisäksi sääsuojausten alle ulkoilma-aukkojen kohdalle on asennettu äänenvaimennuslevyt. Näillä toimenpiteillä on tuloilmaikkunan ääneneristysluvuksi saatu 37 Db. [1, s. 4.]

2.5 Lämpöhäviömittaukset

Lämpöhäviömittaukset suoritettiin ikkunoiden ja seinärakenteiden testauslaitteilla eli niin sanotulla Hot-Box-laitteistolla. Testattava ikkuna asennettiin kylmäkammioita vasten olevaan väliseinän aukkoon, jonka pinta-ala oli 1,42 m². Ikkunan pintalämpötilat ja ilman lämpötila ikkunan molemmiin puolin mitattiin termoelementeillä. Kylmäkammion puolelle järjestettiin säädettävällä puhaltimella

ylipaine, joka aiheutti ilmavirtauksen ikkunan läpi mittauskammioon. Tämä ilmavirta mitattiin ja säädettiin halutun suuruiseksi (4,65 L/s). Mittauskammion lämpötila säädettiin lämmitys- ja jäähdytyspattereilla 20 °C:ksi. Kylmäkammion lämpötila oli noin 0 °C. [1, s. 4.]



Kuva 2. Tuloilmaikkunan ja rakovernttiilisen ikkunan lämmitystarve

Mittaustilanteita oli kaksi: aurinkoenergian läpäisy, jolloin kylmäkammiossa sijaitseva 280 W/m² tehoinen aurinkosimulaattori lämmitti mittauskammiota. Toinen tilanne oli lämmitystarve, jolloin aurinkosimulaattoria ei tarvittu. Kumpikin tilanne mitattiin kahdella muuten samanlaisella ikkunalla, mutta ulkoilman sisäänottojärjestelmä oli erilainen. Tuloilmaikkunan lisäksi tarkasteltiin myös perinteistä yläkarmissa sijaitsevaa rakovernttiiliä. [1, s. 5.]

Kuvassa 2 on esitetty lämmitystarve, eli ikkunan lämpöhäviö jaettuna kylmä- ja mittauskammion välisellä lämpötilaerolla, rakovernttiiliselle ikkunalle ja tuloilmaikkunalle. Lisäksi on esitetty aurinkoenergian läpäisy. [1, s. 5.]

Kuvasta 2 havaitaan, että lämmitystarve oli pienempi (7,75 W/k) tuloilmaikkunalla kuin rakovernttiilillä (8,68 W/k). Aurinkoenergian läpäisy on sen sijaan suurempi,

(2,47 W/k) joten tuloilmaikkuna hyödyntää aurinkoenergiaa tavallista ikkunaa paremmin. [1,s.5] Mittaustuloksissa on laskettu ikkunan tehollinen U-arvo eri tapauksissa. Rakovernissa tapauksessa tehollinen U-arvo oli 1,63 W/m²K ja tuloilmaikkunan tapauksessa 0,94 W/m²K. Toisin sanoen ilman sisäänotto ikkunan lasivälien kautta pienentää tehollista U-arvoa ja pienentää lämmitysenergian tarvetta. [1, s. 5]

Ikkunan pintalämpömittauksissa tuloilmaikkunan pintalämpötila oli 14,8 °C, ja rakoverniä käytettäessä ikkunan pintalämpötila oli 14,9 °C. [1.]

2.6 Raportin yhteenveto

Tuloilmaikkunassa pyritään ulkoa otetulla ilmalla muodostamaan lasien väliin ilmavirtaus, joka ottaa vastaan osan sisältä tulevasta lämpövuodosta ja palauttaa sen takaisin huoneeseen tuloilman lämpenemisen muodossa. Samalla lämpöhäviö ikkunasta ulospäin pienenee eli siis U-arvo paranee. Tuloilman lämpeneminen lisäksi vähentää merkittävästi vedon tunnetta talvitilanteissa. [1, s. 6.]

Perinteisesti tuloilmaikkunan ongelmana on ollut kostean sisäilman tiivistyminen lasiväliin, kun tuuliolosuhteiden tai ilmanvaihdon toimimattomuuden seurauksena sisätiloihin on muodostunut ylipaine ulkoilmaan nähden. Tässä tutkimuksessa kehitetyssä tuloilmaikkunassa on painovoimaan perustuva venttiili, joka estää ilman takaisin virtauksen myös pienillä paine-eroilla. [1,s. 6.]

Kehitetty tuloilmaikkuna on mittauksin havaittu hyvin toimivaksi sekä vedottomuuden että ääneneristyksen suhteen. Lisäksi se on täysin kondensoimaton. [1,s. 6.] Tämä kehitetty tuloilmaikkuna yksinkertaistaa niitä korjausrakentamisen ratkaisuja, joissa ikkunoiden uusimisen yhteydessä uusitaan myös ilmanvaihtojärjestelmä painovoimaisesta koneellisella poistolla toimivaan. [1,s. 6.]

3 AIRTECH-TULOILMAIKKUNA

Airtech-tuloilmaikkuna edustaa uutta sukupolvea edellisiin tuloilmaikkunamalleihin nähden. Se on kehitetty Tekesin ja teollisuuden rahoittamassa tuloilmaikkunan prototyypin perusteella. Mukana hankkeessa oli myös Tiivituote Oy.

Airtech-tuloilmaikkuna on tärkeä osa ilmanvaihtojärjestelmää. Se tarjoaa hallitun korvausilmaratkaisun koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmällä varustettuun huoneistoon tai taloon. Tuloilmaikkunajärjestelmä vaatii riittävän alipaineen, 5...20 Pascalia, joten koneellinen poistoilmanvaihto on välttämätön. [2, s.1.]

Tuloilmaikkunaksi soveltuu avattava kaksipuitteinen MSEX-tyyppinen ikkuna, karmisyvyys 130 tai 170 mm. Hyvän lämmöntalteenottokyvyn saavuttamiseksi lasipinnan tulisi olla noin yhden neliömetrin suuruinen. [2,s.1.]

Airtech-tuloilmaikkuna on käynyt läpi VTT:n suorittaman tyyppihyväksyntätestauksen ilmamäärien, ääneneristävyyden ja kondenssiriskin suhteen. [2,s.1.]

Tuloilmaikkuna säästää energiaa tavalliseen korvausilmaventtiiliin verrattuna. Lämmön talteenottovaikutuksen ansiosta niin sanottu tehollinen U-arvo paranee tasolle 0,8...1,0 W/m²K riippuen muun muassa perusikkunan lasituksesta. [2,s.1.]

3.1 Airtech-tuloilmaikkunan toimintaperiaate

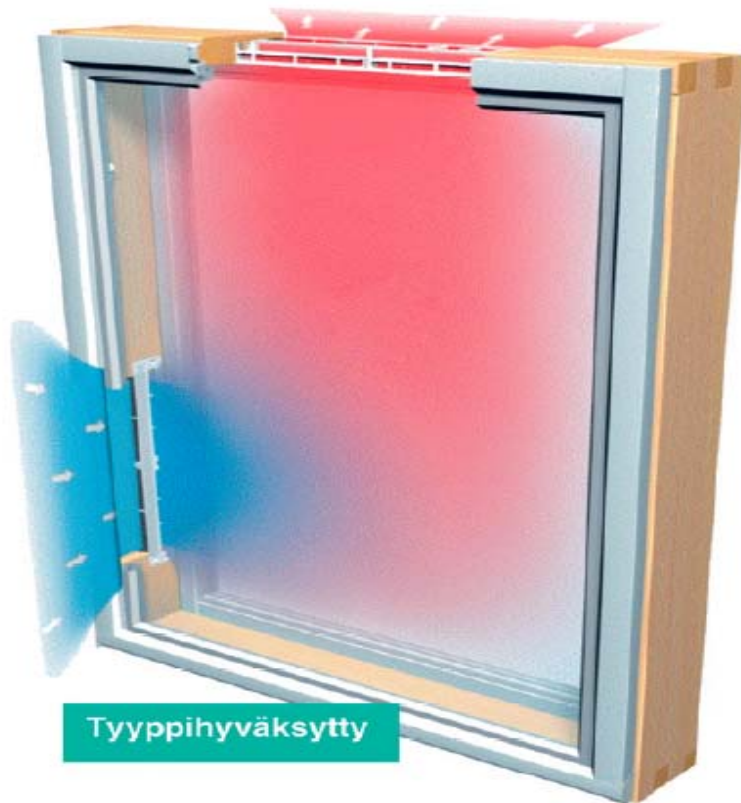
Airtech-tuloilmaikkuna hyödyntää ikkunan hukkalämpöä ja auringon säteilylämpöä tuloilman esilämmitykseen. Poistoilmanvaihdon luoma alipaine avaa yläkarmissa olevan yksisuuntaventtiilin ja imee ikkunan välitilassa esilämminnyttä korvausilmaa huoneeseen. Välitilaan pääsee tällöin uutta raitista ilmaa sivu- tai välikarmissa olevan kanavan kautta. Ilmavirta levittäytyy ikkunan välitilassa ja lämpenee sisälasin läpi karanteen lämmön vaikutuksesta. Näin hukkalämpö palautuu takaisin huoneeseen estäen samalla ilmanvaihdon vedon tunnetta. [2, s.1.]

Tuloilmaikkunalla on lämmöntalteenottovaikutus. Tuloilman lämpeneminen auringonsäteilylämmön vuoksi voidaan hyödyntää varsinkin keväällä ja syksyllä. Kun ulkolämpötila on $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, lämpenee ilma tuloilmaikkunan välitilan läpi kulkiessaan noin $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ sisälämpötilan ollessa $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$. [2, s.1.]

Yläkarmissa oleva venttiili estää myös kostean huoneilman pääsyn ikkunan välitilaan. Kesällä kesä- ja ulkolämpötilojen erot ovat pienempiä ja on havaittu, ettei jatkuvassa virtaustilassa oleva ilma lämpene haitallisesti. Näin ollen tuloilmaikkunan venttiilissä ei tarvita erillistä kesä/talviasentoa. Tyyppihyväksynnän edellyttämän jäätymättömyyden kannalta on **eduksi**, että yläkarmissa ei ole kylmää johtavaa, karmin läpi ulottuvaa rakennetta. [2, s.1.]

3.2 Kuvat ja toimintaselostus

Seuraavassa esitellään toimintatapa kuvin ja selostuksin.

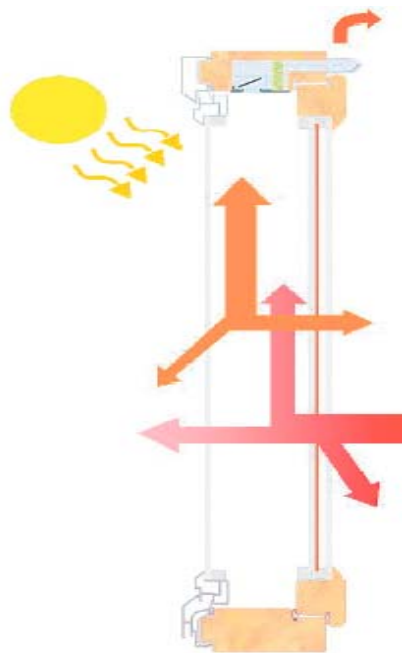


Kuva 1. Tuloilmaikkunan toimintaperiaate

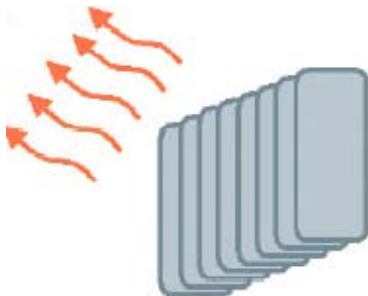
Tuloilmaikkunassa ilma johdetaan sisään muotoillun ulkoprofiilin kautta. Poistoilmanvaihtojärjestelmän luoma alipaine avaa yläkarmissa olevan yksisuuntaventtiilin ja imee ikkunan välitilassa esilämminnyttä korvausilmaa.

Ilmavirta lämpenee sisälasin läpi karanteen lämmön vaikutuksesta ja hukkalämpö palautuu takaisin estäen samalla vedon tunnetta. [2, s.1.]

Tuloilmaikkunan toimintaperiaate sivulta päin katsottuna.

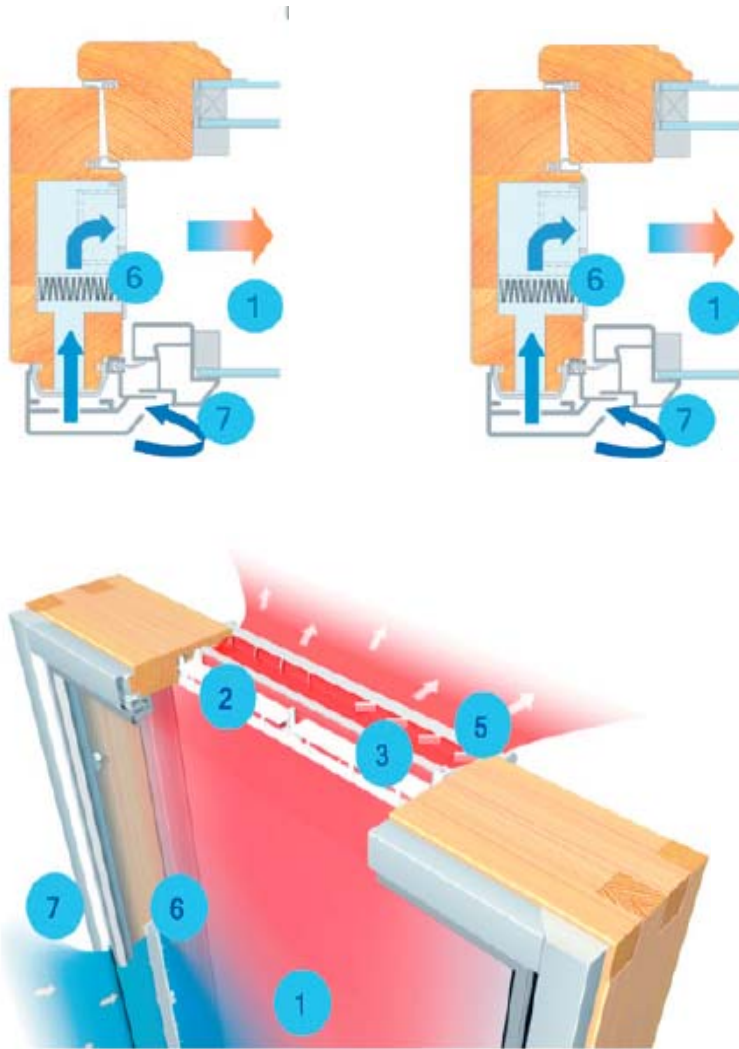


Kuva 2. Ulkoa tuleva raitis ilma lämpenee ikkunan välitilassa ikkunasta ulos suuntautuvan hukkalämmön ja auringon lämpösäteilyn vaikutuksesta. Sisään virtaava esilämminnyt ilma ohjataan huoneen yläosaan, jossa se sekoittuu huoneilmaan. [2, s.1.]



Kuva 3. Suulakeohjain, jolla ilma ohjataan huoneen yläosaan. [2, s.1.]

Venttiili estää lämpimän sisäilman virtauksen takaisin ikkunan väliin.



Kuva 4. Patentoitu venttiili, tarkkuussuodatin ja uusi ilmaohjain. Raitis ilma virtaa sisään sivukarmin kautta ikkunan välitilaan. Suodattimen sijoitus yläkarmiin varmistaa sen, että kaikki ilma todella kulkee tarkkuussuodattimen kautta. Ulkopuolella ilmanotto on kätketty uudella profiililla, joka parantaa myös äänenvaimennusta. Esisuodatin estää välitilan likaantumista. [2, s.2.]

- 1. Lämmöntalteenotto: korvausilma lämpenee ikkunan välitilassa auringonsäteilyn ja sisälasin läpi karanneen hukkalämmön avulla.**
- 2. Patentoitu yksisuuntaventtiili estää kostean sisäilman pääsyn ikkunarakenteeseen.**
- 3. Yläkarmin koteloon mahtuva laajapintainen suodatin antaa runsaan ilmamäärän myös tarkalla F7-suodattimella.**
- 4. Portaattomasti säädettävä, ilmaa ylöspäin ohjaava ilmanjakosuulake.**
- 5. Sivukarmissa on pestävä esisuodatin.**
- 6. Karmiprofiiliin on kätketty näkymätön, ääneneristysmuotoilulla ja hyttysverkolla varustettu ilmanotto. [2, s.2.]**

Airtech-tuloilmaikkuna on tässä kuvattuna ulkoapäin. Ikkunassa on koristelistat, jotka antavat ikkunalle lisää yksilöllistä ilmettä ja koristeellisuutta.



Kuva 5. Karmiprofiiliin integroitu, ääneneristysmuotoilulla ja hyttysverkolla varustettu ilmanotto on täysin huomaamaton. [2, s. 4]

Ulkopuolelta vaihdetaan pystykarmissa oleva esisuodatin.



Kuva 6. Sivukarmissa pestävä esisuodatin [2, s. 4]

Kuvassa näkyy suodattimen asettelu ikkunan yläosaan tuloilma-aukkoon.



Kuva 7. Helposti vaihdettava suodattimen kasettiratkaisu; suodatinkasetti vaihdetaan näppärästi ikkunan välitilan puolelta. [2, s. 4]

3.3 Puhdas ilma tarkkuussuodattimen avulla

Ilma kulkee profiilikanavan ja esisuodattimen läpi ikkunan välitilaan. Esisuodatin vähentää ikkunan välitilan likaantumista. Pääsuodattimeksi voidaan valita synteettisestä materiaalista valmistettu uusien määräysten mukainen F7-tarkkuussuodatin, joka poistaa ilmasta pölyn ja ihmiselle haitalliset suurhiukkaset, kuten siitepölyn, ja erottaa jossain määrin myös tupakan savun sekä bakteereita. Toisena vaihtoehtona on G3-luokkaan kuuluva normaalsuodatin, joka poistaa huomattavan osan silmällä havaittavasta pölystä, kuten siitepölyn ja hiekkapölyn. Sivukarmissa on pestävä esisuodatin.

Ikkunan välitilassa yläkarmin suodatinkotelossa oleva F7-tarkkuussuodatin vaihdetaan likaantumisen mukaan, kuitenkin vähintään kerran vuodessa. Sivukarmin esisuodatin vaihdetaan tarvittaessa, se voidaan myös liottaa ja pestä joitakin kertoja. [2, s. 2.]

3. 4 Ääneneristävyys- ja ilmamäärätaulukko

Taulukossa 3 esitetään ilmaäänen ja liikennemelun mitatut desibelimäärät sekä ilmamäärät yhtä venttiiliä kohden eri paine-eroilla.

Taulukko 3. Airtech-tuloilmaikkunan ääneneristävyys ja ilmamäärät. [2, s. 2]

AirTech-tuloilmaikkunan ääneneristävyys ja ilmamäärät											
Lasitus Lasipaksuudet järjestyksessä ulkoa sisään	Ääneneristävyys		Ilmamäärä (l/s)								
	Ilmaaäni	Liikenne- melu	Esisuodatin			G3-normaalisuodatin			F7-tarkkuussuodatin		
			Rw	Rw + Ctr	5 Pa	10 Pa	20 Pa	5 Pa	10 Pa	20 Pa	5 Pa
MSEX-170			3,4	4,9	7,1	2,9	4,3	6,4	2,6	4,0	6,0
4-(4-4)	38	32									
6-(4-6)	38	35									
3+3-(4-4)	39	38									
3+3-(4-6)	40	38									
MSEX-130			Mittauksissa sivukammissa esisuodatin. Ilmamäärät ilmoitettu yhtä venttiiliä kohden kolmella eri paine-erolla (5, 10 ja 20 Pa). Edellyttää koneellista poistoilmavaihtoa. AirTech-tuloilmajärjestelmän vedoton tilavuusvirta on testin mukaan sama kuin kondenssikokeessa eli 7 l/s.								
4-(4-4)	34	29									
3+3-(4-4)	36	33									

Kondenssialtiuskokeessa (ulkolämpötila -20°C, sisälämpötila +20°C ja tilavuusvirta 7 l/s) AirTech-venttiili todettiin kondenssin suhteen riskittömäksi. Vedottomuusstandardin mukaan ei havaittu eroa, onko eristyslaselementissä selektiivilasi vai kirkas tavalasi.

3.5 Ikkunoiden energiankulutuslaskelma

Seuraavassa on testiolosuhteissa tehtyyn energiankulutusmittaukseen perustuva laskelma venttiilittömän MSEX-ikkunan, raitisilmaventtiilillä varustetun MSEX-ikkunan sekä Airtech-tuloilmajärjestelmällä varustetun MSEX-ikkunan vuosittaisesta energian kulutuksesta.

Alla esitetyt arvot perustuvat testien suuntaa antaviin arvoihin.

Lähtötiedot

Normaali ikkuna	<i>kirkkaat float lasit, täytekaasuna ilma, ikkunan U-arvo 1,74 W/Km²</i>
Raitisilmaventtiilillä	<i>lasitus normaalilaseilla ja normaalityyppisellä raitisilmaventtiilillä varustettu ikkuna, testeihin perustuva lämmitystarve **) 6,112 W/Km²</i>
Airtech- tuloilmaikkuna	<i>lasitus perusikkunan kaltainen, ikkuna varustettu Airtech- tuloilmajärjestelmällä, testeihin perustuva lämmitystarve *) 5,458 W/Km²</i>

**) lämmitystarve x ikkunan pinta-ala x Keskeisen Suomen lämmöntarveluku
normaalina vuonna*

***) lämmitystarvemittauksessa venttiilin läpi kulkenut ilmamäärä 4,64 L/s;
Kokonaistarve; ilma + lämmönhukka*

Yhden, pinta-alaltaan 1,42 m²:n ikkunan vuosittainen energian kulutus mitattuna esitetään alla. [3.]

Ikkuna ilman venttiiliä

300 kWh / vuosi + hallitsemattoman (mm.tiivisteraoista)
korvausilman lämmitystehon tarve jolloin
yhteiskulutukseksi tulee raitisilmaventtiilin taso

Ikkuna 1040 kWh / vuosi

raitisilmaventtiilillä

Airtech- 930 kWh / vuosi
tuloilmaikkuna

Lämmityskustannukset yhdellä ikkunalla riippuen lämmitysmuodosta:

Ikkuna ilman 12 - 33 € (0,04€ / kWh – 0,11€ / kWh)
venttiiliä Vertailukustannuksena tähän täytyy lisätä korvausilman
lämmityskustannus, jolloin päästään suunnilleen
raitisilmaventtiilin tasoon.

Ikkuna
raitisilmaventtiilillä 41,6 € - 114 € (0,04 € / kWh – 0,11 € kW)

Airtech- 37,2 € - 102,30 € (0,04 € / kWh – 0,11 € / kWh)
tuloilmaikkuna

Noin 100 m²:n huoneistossa, jossa on 5 venttiiliä (ilmanvirtaus a 4,64 L/s) päädytään ilmanvaihtolukuun 0,33 1/h, mikä ei täytä määräysten (D2) suositusta, mutta on kuitenkin hyvin yleinen arvo.

Esimerkkihuoneiston osalta Airtech-tuloilmaikkunan säästöetu edellä mainitun laskelman mukaan on vuositasolla 22 – 60,5 €, lämmitysmuodosta riippuen eli miten kallista energiaa käytetään lämmittämiseen. Airtech-tuloilmaikkunan ja raitisilmaventtiilillä varustetun ikkunan hintaerolle saadaan näin takaisinmaksuaika 4–10 vuotta. Jonkin verran pidempi kuoletusaika tarvitaan kun vertailukohtana on venttiilitön ikkuna, jolloin korvausilma tulisi hallitsemattomasti kuluttaen sekin lämmitysenergiaa (tässä ei huomioitu). Tällöin suuremmat edut ovat kuitenkin laadullisia eli hallitumpi järjestelmä, puhtaampi ilma, terveenä säilyvät rakenteet ja raittiin ilman leviäminen suunnitelmallisesti sijoitettujen venttiilien kautta yhtenäisesti koko huoneiston eri osiin. [3.]

4 LÄMMÖNLÄPÄISYKERROINLASKELMAT

Tavalliselle kansalaiselle ehkäpä ymmärrettävin tapa laskea vaikkapa ikkunan energiankulutus lienee U-arvoon, kuukausien keskilämpötilaan ja sisä- ja ulkolämpötilan väliseen eroon perustuva malli. Ensin on ymmärrettävä, mitä tarkoittaa U-arvo. Sitä käytetään ilmaisemaan rakenteiden lämmöneristävyyttä, eli miten paljon sisältä menee lämmintä ilmaa esimerkiksi ikkunan läpi johtumalla ulos pakkaseen. Eri rakennusmateriaaleille on valmistajien ilmoittamat U-arvot merkittynä tuoteselosteeseen. Eri rakennekokonaisuuksien U-arvot voidaan laskea valmiilla kaavoilla jotka löytyvät Suomen rakentamismääräyskokoelmasta D4. Mitä pienempi U-arvo on, sen parempi on lämmöneristävyys. Mutta laskelmia varten on tärkeintä ymmärtää että **lämmönläpäisykerroin eli U-arvo ilmoittaa sen lämpömäärän, jonka 1 m² suuruinen rakennusosa läpäisee tunnissa, kun lämpötilaero on 1 °C.**

Ilmatieteen laitokselta saa paikkakuntakohtaiset ulkolämpötilat kaikille kuukausille monien vuosien ajanjaksoilta. Tiedetään montako päivää on kussakin kuukaudessa. Tiedetään että vuorokaudessa on 24 tuntia. Tiedetään sisälämpötila. Lasketaan sisä- ja ulkolämpötilan ero. Tiedetään rakennusosan neliömäärä eli tässä tapauksessa ikkuna 1,42 m² ja sen U-arvo 0,94 W / m²K. Näillä tiedoilla voidaan laskea kuukausikohtaisesti ikkunan kuluttama lämpöenergia ja paljonko se maksaa.

Paljonko ikkunan läpi kulkeutuu lämmitysenergiaa pakkaseen tammikuun aikana? Rakennus sijaitsee Jyväskylässä: Sisälämpötila on 21 °C. Ikkunan tehollinen U-arvo on 0,94 W/m²K. Ikkunan koko 1,42 m².

Kaava: U-arvo x laskettavan kuukauden vuorokausimäärä x 24 tuntia x sisä- ja ulkolämpötilan välinen ero x ikkunan neliömäärä = ikkunan läpi kulkeutunut lämpöenergia kuukaudessa.

Tammikuussa on 31 vuorokautta, ulkolämpötilan keskiarvo Jyväskylässä tammikuussa 2004 -11,5 °C. Sisälämpötila 21 °C. Näin saadaan sisä- ja ulkolämpötilan välinen ero 32,5 °C. Ikkunan koko 1,42 m².

$$0,94 \text{ W/m}^2\text{K} \times 31 \text{ vrk} \times 24 \text{ h} \times 32,5 \text{ }^\circ\text{C} \times 1,42 \text{ m}^2 = 32,3 \text{ kWh}$$

Lämmitysenergian hinta Jyväskylässä riippuen talon käyttämästä (sähkö, öljy kaukolämpö jne.) lämmitysjärjestelmästä 0,04 €/ kWh – 0,11 €/ kWh

$$0,04 \text{ €/ kWh} \times 32,3 \text{ kWh} = 1,3 \text{ €} - 3,55 \text{ €}$$

Tammikuussa 2003 1,42 m²:n suuruisen Airtech-tuloilmaikkunan lämpöhäviön lämmittäminen maksoi 1,3 €-3,55 €

Vastaavasti normaali ikkunan, jonka U-arvo on 1,74 €/ W/m²K, vastaavan ajan kohdan lämpöhäviön lämmittäminen maksoi 2,38 € – 6,57 €. Ero Airtech-tuloilmaikkunan ja normaali ikkunan lämpöhäviön lämmityskustannuksissa on 1,08 € – 3,02 € tuloilmaikkunan hyväksi tammikuussa 2003. Vuositasolla ero liikkuu välillä 6 €– 17 €.

Tässä täytyy ottaa huomioon, että kyse on normaali-ikkunan ja Airtech-tuloilmaikkunan välisestä vertailusta jossa Airtech-tuloilmaikkunan kohdalla on käytetty tehollista U-arvoa 0,94 W/m²K. **Näin laskettuna erot ovat hyvin pieniä ja eroavat testiolosuhteissa tehtyihin energiankulutusmittauksiin. Tehollisen U-arvon käyttäminen on tuloilmaikkunan kohdalla vaikeaselkoista, koska selvää tietoa ei ole, mistä se muodostuu.**

5 SISÄILMASTOTUTKIMUKSIA

Tampereen teknillisen yliopiston talonrakennustekniikan laboratorio ja Teknillisen korkeakoulun LVI-laboratorio ovat vuosina 2002–2004 tutkineet kenttämittauskokeilla sadan puurunkoisen pientalon ja kahden hirsitalon sisäilman kosteus- ja lämpötilaolosuhteita, ilmanvaihdon toimivuutta ja ilmatiiviyttä. Tutkimuksessa mukana olleet kohteet olivat uudehkoja pientaloja, jotka erosivat toisistaan mm. vaipparakenteen, ilmanvaihtojärjestelmän, iän ja rakentamistavan osalta.

Talvikauden sisäilman mittaustulokset osoittivat odotettua suurempaa huonelämpötilan vaihtelua ja saattavat viitata ongelmiin lämpötilan säädössä.

Kesäaikaiset huonelämpötilat osoittivat puolestaan talojen merkittävää yllilämpenemistä sekä auringonsuojauksen ja jäähdytyksen tarvetta. Tulokset vastasivat huonosti sisäilmaluokituksen tavoitearvoja. Ilmanvaihtojärjestelmällä oli suurin vaikutus sisäolosuhteiden vuorokausivaihteluun. [4, s.3.]

Sisäpintojen hygroskooppisuudella ei ollut havaittavaa vaikutusta vesihöyrypitoisuuden ja suhteellisen kosteuden tasoon eikä vaihteluun. [4, s. 3.]

Koekohteiden keskimääräinen energian kokonaiskulutus vuodessa oli 141 kWh / m² ja 56 kWh / m³. Energian kulutuksen vaihteluväli oli suuri, vaikka suurin osa taloista oli muutaman vuoden ikäisiä ja samojen ohjeiden mukaan rakennettuja. Saadut tulokset osoittivat, että asukkaiden elintavat vaikuttavat ratkaisevasti lämpöenergian kulutukseen. [4, s. 3.]

Vaipparakenteet

Vaipparakenteiden toimintaan vaikuttaa oleellisesti sisäilman kosteuslisä jota käytetään rakenteiden mitoituksessa.

Kosteuslisän vaihtelut johtuvat paitsi asukkaiden vedenkäyttöeroista, myös ilmanvaihtojärjestelmien toimintaeroista. [4, s10.]

Kehitystarpeet

Pientalojen ilmanvaihtojärjestelmien toiminnassa on esiintynyt puutteita ja kehitystarpeita. Pientalojen rakenteet ja LVI-järjestelmät suunnitellaan erillisinä ja toiminnan suunnittelussa on keskitytty lämmityskauteen. Kesän yllämpötiloja ei suunnittelussa yleensä oteta huomioon. Myös sisäilmasto-olosuhteiden vaihtelusta ja niiden riippuvuudesta ilmanvaihtojärjestelmästä tai rakenneratkaisuista on kaivattu lisätietoa. [4, s.10.]

5.1 Tutkimustuloksia

Ilmanvaihtojärjestelmiltään kohteet jaoteltiin koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon, koneellisen poistoilmanvaihdon ja painovoimaisen ilmanvaihdon kohteisiin. Pääasiassa tutkimukseen valittiin koneellisen ilmanvaihdon kohteita. Painovoimaisia ilmanvaihtoratkaisuja otettiin mukaan vertailumielessä. Jokaista rakenne- ja ilmanvaihtoratkaisun yhdistelmää pyrittiin valitsemaan vertailua varten riittävän suuri otanta. [4, s.12.]

Sisäilmastoluokituksen tavoite arvot

Taulukko 4. Sisäilmaston olosuhteiden tavoitearvot.

		S1	S2	S3
Huonelämpötila	Kesä	23-24 °C	23-26 °C	22-27(35) °C
	Talvi	21-22 °C	20-22 °C	20-23 °C
Huonelämpötilan tilapäinen poikkeama asetusarvosta		±0,5 °C	±1 °C	±2 °C
Ilman suhteellinen kosteus (*)		Talvi		25-45 % RH

*) Ilman suhteelliselle kosteudelle on asetettu tavoitearvot vain sisäilmastoluokassa S1.

Sisäilmastoluokitus antaa lämpöolojen tavoitearvot sekä kesä- että talvikaudelle, mutta tarkkoja raja-arvoja kesä- tai talvikauden pituuden määrittämiseksi ei ole annettu.

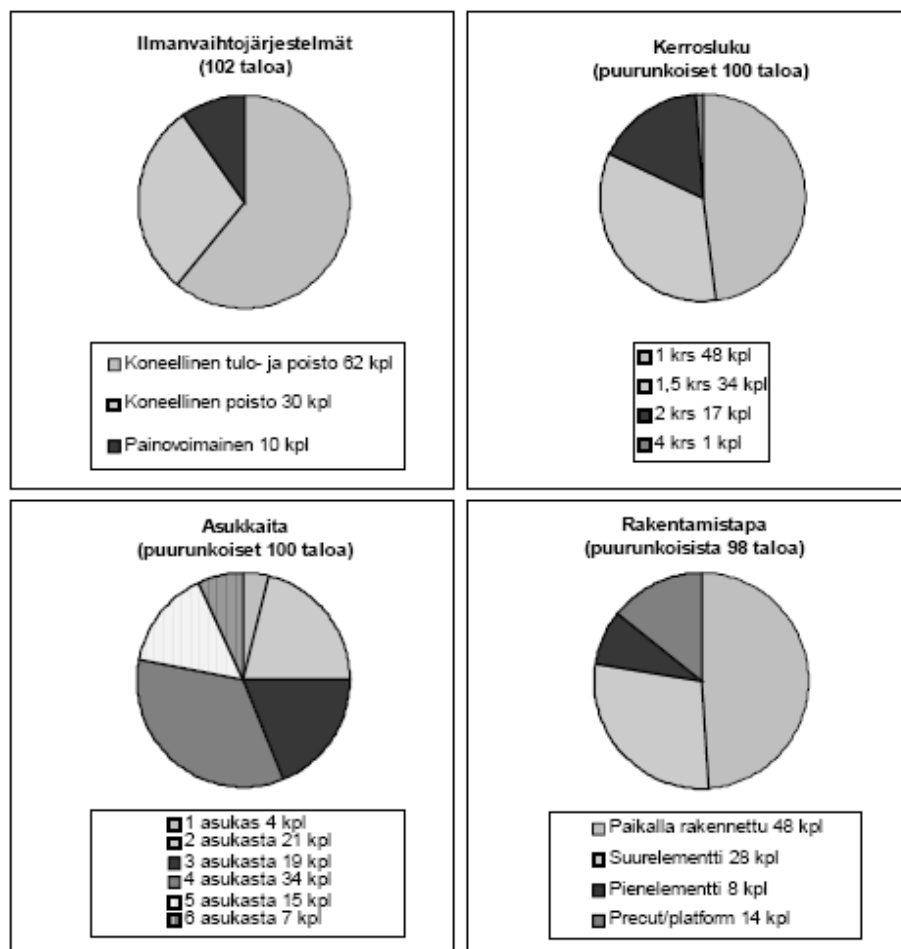
Sisäilmastoluokitus on kolmitasoinen esittäen laatuluokat S1, S2 ja S3. Luokitus esittää samat arvot asuin- ja toimistorakennuksille. Luokka S1 kuvaa yksilöllistä sisäilmastoa, jossa sisäilman laatu on erittäin hyvä ja lämpöolot ovat viihtyisät kesällä ja talvella. Luokassa S1 tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja ja tarvittaessa tehostamaan ilmanvaihtoa. Luokassa S2 sisäilman laatu on hyvä ja lämpöolot vedottomat. Kesän kuumimpina päivinä lämpötila nousee viihtyisän tason yläpuolelle korkeintaan 7 vuorokautena. Luokka S3 kuvaa tyydyttävää sisäilmastoa, missä sisäilman laatu ja lämpöolot vastaavat lähinnä säännösten mukaista vähimmäistasoa. Ilma saattaa ajoittain tuntua tunkkaiselta ja vedon tunnetta saattaa esiintyä. Yliämpeneminen on yleistä kuumina kesäpäivinä. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin olosuhteiden vastaavuutta pääasiassa sisäilmastoluokkien S2 ja S3 tavoitearvoihin.

Sisäilmastoluokassa S1 on sisäilman suhteellisen kosteuden tavoitearvo talvella 25–45 %. Muihin sisäilmastoluokkiin ei ole esitetty suhteellisen kosteuden tasolle tavoitearvoja. Sisäilman suhteellinen kosteus voi laskea pakkashuippujen aikana

hetkellisesti ohjearvon alapuolelle, mutta sen tulisi alittaa 60 % RH kaikissa oloissa lämmityskaudella. Sisäilman kosteuden vuorokausivaihteluille ei ole esitetty tavoitearvoja.

Koekohteiden jakauma

Kuvassa 8 esitellään koekohteiden jakauma ilmanvaihtojärjestelmien, kerrosluvun, rakentamistavan ja asukkaiden lukumäärän perusteella.



Kuva 8. Koekohteiden jakauma [4, s.13]

5.2 Koekohteiden ilmanvaihdon mittaukset

Koekohteiden ilmanvaihtokertoimet määritettiin mittaamalla talon jokaisen poistoilmaventtiilin ilmamäärät. Mittauksessa käytettiin Airflow LCA 6000 VA –

siipipyöräänemometriä. Ilmamäärät mitattiin ilmanvaihtokoneen eri tehoilla siten, että mukana oli ainakin minimi-, maksimi- ja käyttöasennon teho. Ennen mittauksen aloittamista varmistettiin, että ulko-ovet ja ikkunat olivat kiinni. Yhden mittauspisteen yksittäisen mittauksen kesto oli n. 0,5–1 minuuttia. Mitatuista poistoilmamääristä laskettiin ilmanvaihtokerroin jakamalla poistoilmaventtiileistä mitattujen ilmamäärien summa asunnon ilmatilavuudella (kaava 1.)

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n q_{v,i}}{V}$$

Missä

n = asunnon ilmanvaihtokerroin [1/h]

$q_{v,i}$ = yksittäisen poistoventtiilin ilmavirta [m^3/h]

V = asunnon sisätilavuus [m^3]

Rakennuksen ilmanvaihtokerroin kertoo kuinka monta kertaa tunnissa asunnon ilma vaihtuu. Esimerkiksi ilmanvaihtokerroin 0,5 l/h tarkoittaa, että puolet asunnon ilmasta vaihtuu yhdessä tunnissa. Koekohteiden makuuhuoneissa mitattiin lisäksi tuloilmaventtiilien paine-erot TSI VelociCalc Plus 8388 -paine-eromittarilla. Mitatun paine-eron ja päätelaitetyypin avulla laskettiin valmistajien taulukosta makuuhuoneiden tuloilmamäärät. [4, s.16.]

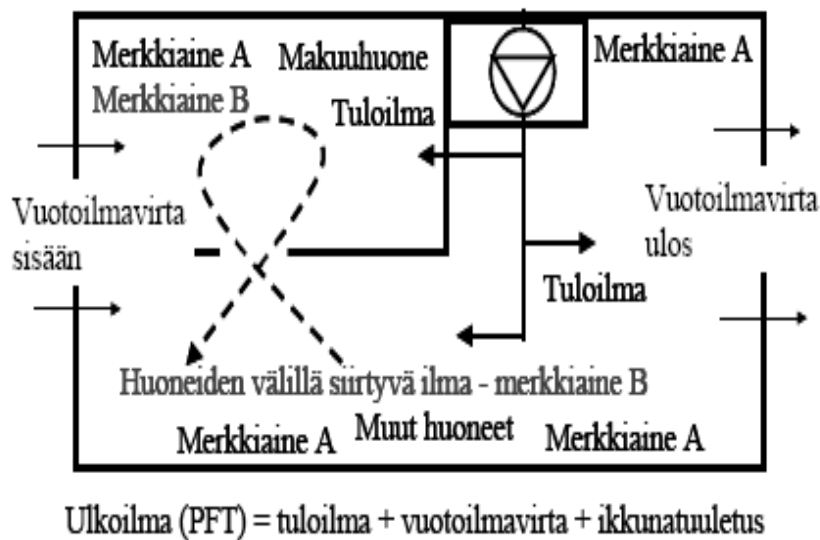
5.3 Merkkiainemittaukset

Ilmanvaihdon kertamittausten lisäksi mitattiin 74 kohteessa keskimääräinen ilmanvaihtokerroin huonekohtaisesti passiivisella merkkiainemittaustekniikalla tammi–helmikuun aikana. Mittaus tehtiin kahdella merkkiaineella (Nordtest method NT VVS 118, 1997), ja mittauksen kesto oli n. 1 kuukausi. Merkkiaineilla pystyttiin tutkimaan sekä koko asunnon että kahden hengen makuuhuoneen ilmanvaihtoa.

Kuvassa 9 on esitetty merkkiainemittauksen periaate. Jokaiseen huoneeseen sijoitettiin A-merkkiainelähde, joka päästi huoneilmaan vakiomäärän merkkiainetta huoneilmakuutiota kohti mittaussjakson ajan.

Kahden hengen makuuhuoneeseen sijoitettiin lisäksi B-merkkiainelähde, jonka perusteella mitattiin makuuhuoneen ilmanvaihtoa (ulkoilmavirta, joka sisältää tuloilman, vuotoilman ja ikkunatuuletuksen sekä makuuhuoneen ja muun asunnon välillä siirtyvän ilmavirran).

Mitattaviin tiloihin sijoitettiin keräimiä merkkiaineen pitoisuuden (massa mittaussjaksolta) mittaamista varten. [4, s.17.]



Kuva 9. Merkkiaineella A mitattiin koko asunnon ilmanvaihtoa ja merkkiaineella B makuuhuoneen ilmanvaihto. [4, s.17]

5.4 Sisäilmaston kesäaikainen kosteus ja lämpötilat

Kummankin mittausvuoden kesäjaksolla sisälämpötila vaihteli +18 °C ja +32 °C välillä. Sisäilman suhteellinen kosteus vaihteli 19 % RH ja 85 % RH välillä.

Kesäjakson keskimääräinen sisälämpötila oli vuonna 2002 +24,6 °C ja vuonna 2003 +24,9 °C (huoneista mitattujen keskiarvojen vaihteluväli oli vastaavasti +22,8...+27,0 °C ja +22,2...+28,5 °C).

Kesäjaksoilla oli keskimääräinen suhteellinen kosteus molempina mittausvuosina 51 % RH. (huoneista mitattujen keskiarvojen vaihteluväli oli vastaavasti 42...59 % RH ja 34...60 %).[4.s.23]

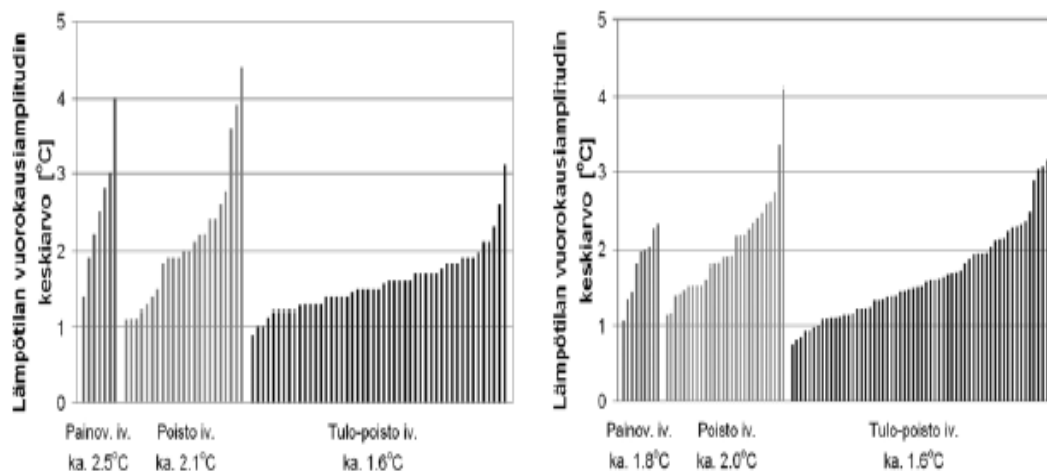
Taulukossa 5 esitellään painovoimaisen-, poisto sekä tulo- ja poistoilmanvaihdon mittausarvoja kesällä 2002 ja 2003. [4, s. 23]

Taulukko 5. Lämpötilan (T), suhteellisen kosteuden (RH) ja vesihöyrypitoisuuden (v) kesäjaksojen keskiarvot ja keskiarvojen keskihajonta (σ).

	Kesäjakso: 01.07.2002...10.09.2002						Kesäjakso: 04.07.2003...25.08.2003					
	T, [°C]	σ	RH, [%]	σ	v, [g/m ³]	σ	T, [°C]	σ	RH, [%]	σ	v, [g/m ³]	σ
Painovoimainen iv.	+24,2	1,0	52	5	11,4	0,5	+24,4	1,2	53	4	11,8	0,5
Koneellinen poisto iv.	+24,7	0,8	50	6	11,3	0,4	+24,8	1,1	51	6	11,7	1,1
Koneellinen tulo-poisto iv.	+24,6	1,0	51	5	11,4	0,4	+25,0	1,1	51	3	11,9	0,5
Vesihöyryä läpäisevä vaipparakenne	+24,7	1,0	50	4	11,3	0,5	+24,8	1,1	51	5	11,5**	1,1
Vesihöyrytiivis vaipparakenne	+24,6	0,9	51	3	11,4	0,5	+25,0	1,1	52	3	12,0**	0,4
Hygroskooppinen sisäpinta	+24,4*	0,7	51	2	11,4	0,3	+24,7*	1,0	52	3	11,8	0,5
Ei-hygroskooppinen sisäpinta	+24,8*	1,0	50	4	11,4	0,5	+25,2*	1,1	51	5	11,8	0,9
Kaikki kohteet	+24,6	0,9	51	3	11,4	0,4	+24,9	1,1	51	4	11,8	0,7

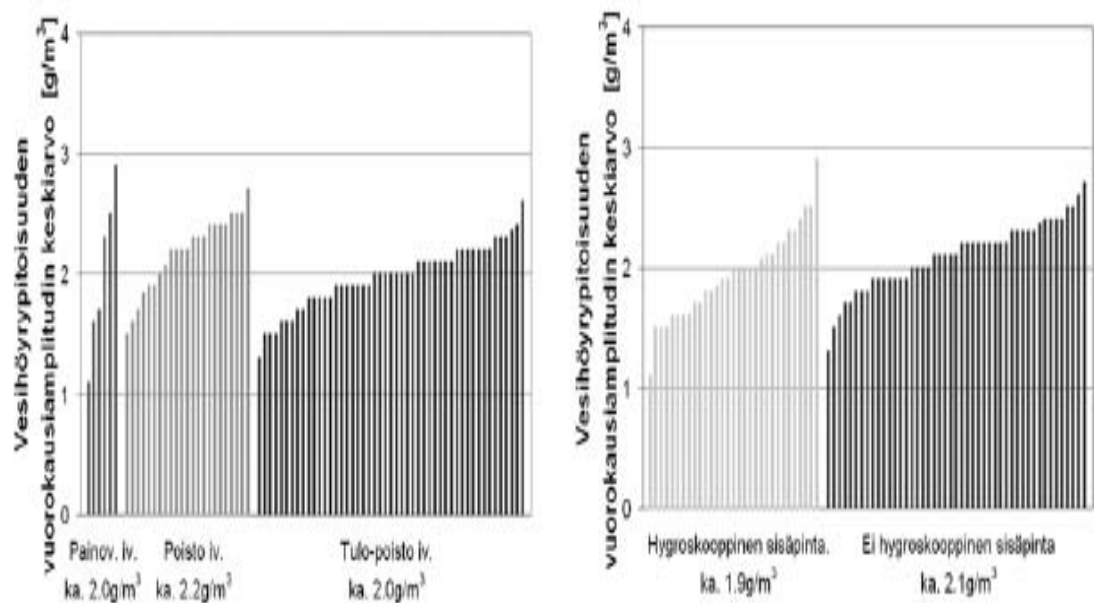
5.5 Lämpötilan ja kosteuden vuorokausivaihtelu

Eri rakenteiden sekä lämmitys- että ilmanvaihtojärjestelmien vaikutusta lämpöoloihin tutkittiin myös vuorokauden tasolla. Kesällä 2002 lämpötilan vuorokausivaihtelun keskiarvo oli merkitsevästi pienempi koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän taloissa kuin painovoimaisen ilmanvaihdon taloissa tai poistoilmanvaihtojärjestelmän taloissa. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän taloissa oli myös pienempi suhteellisen kosteuden ja vesihöyrypitoisuuden vuorokausivaihtelun keskiarvo kuin poistoilmanvaihtojärjestelmän taloissa. Talvella 2002–2003 oli lämpötilan vuorokausivaihtelun keskiarvo merkitsevästi pienempi taloissa, joissa oli koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto tai koneellinen poistoilmanvaihto kuin taloissa, joissa oli painovoimainen ilmanvaihto. Kesällä 2003 koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon talojen lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja vesihöyrypitoisuuden vuorokausivaihtelun keskiarvot olivat merkitsevästi pienemmät kuin koneellisen poistoilmanvaihdon. [4, s. 31.]



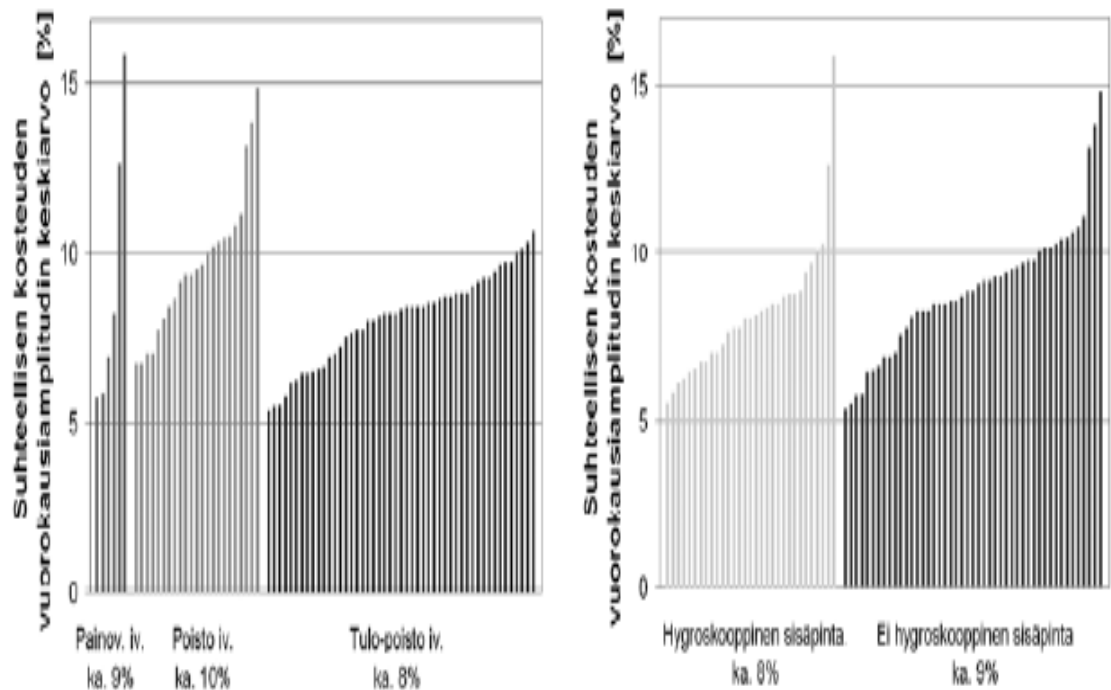
Kuva 10. Sisälämpötilan vuorokausivaihtelun keskiarvo 2002 (vasen) ja 2003 (oikea) mittausvuoden kesäjaksolla vertailussa eri ilmanvaihtojärjestelmien välillä. [4, s. 31]

Kuvassa 11 nähdään vesihöyrypitoisuuden vuorokausivaihtelun keskiarvo kesällä 2002 eri ilmastointijärjestelmien kesken. Erot ovat hyvin pieniä eri järjestelmien kesken.



Kuva 11. Vesihöyrypitoisuuden vuorokausivaihtelun keskiarvo 2002 kesäjaksolla vertailussa eri ilmanvaihtojärjestelmien välillä (vasen) ja eri sisäpintamateriaalien välillä (oikea). [4, s. 31]

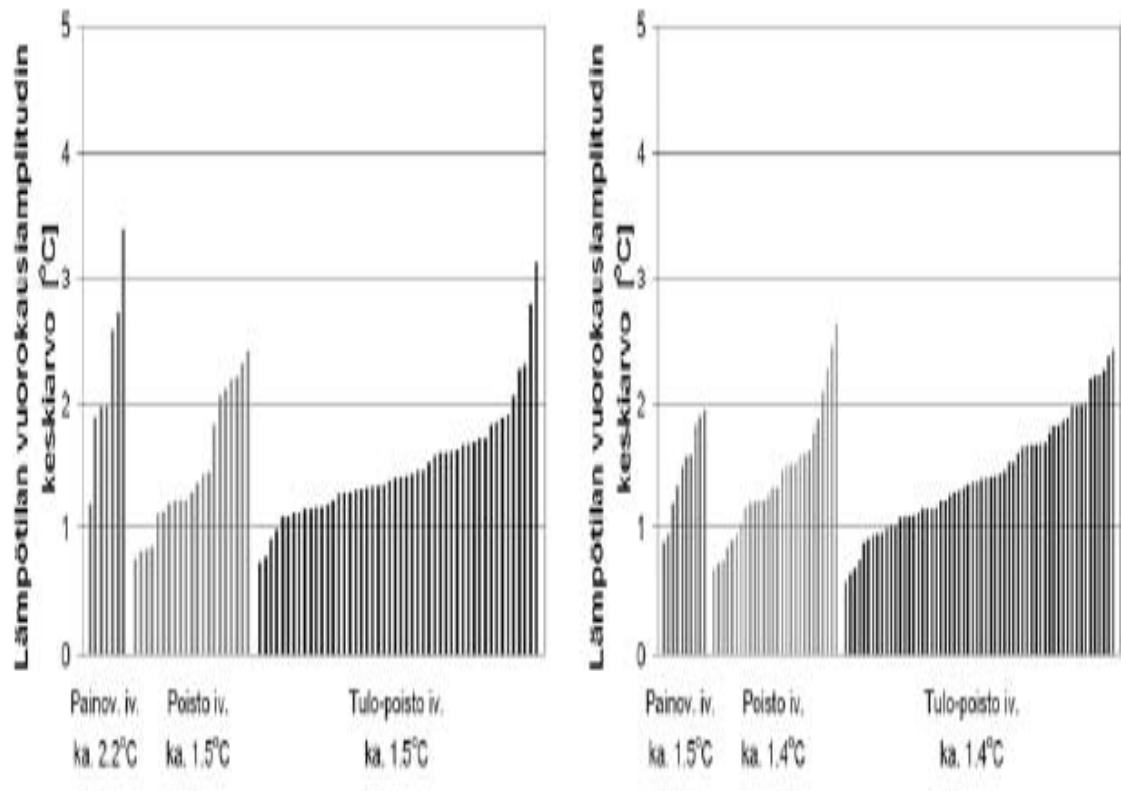
Kuvassa 12. vertaillaan eri ilmanvaihtojärjestelmien kesken kosteuden vuorokausivaihtelua.



Kuva 12. Suhteellisen kosteuden vuorokausivaihtelun keskiarvo 2002 kesäjaksolla vertailussa eri ilmanvaihtojärjestelmien välillä (vasen) ja eri sisäpintamateriaalien välillä (oikea). [4, s. 32]

Sisälämpötilan vuorokausivaihtelu eri ilmanvaihtojärjestelmien kesken on esitetty alla olevassa kuvassa.

Vuorokausiamplitudi tarkoittaa tässä samaa kuin vuorokausivaihtelu.



Kuva 13. Sisälämpötilan vuorokausivaihtelun keskiarvo 2002–2003 (vasen) ja 2003–2004 (oikea) mittausvuoden talvijaksolla vertailussa eri ilmanvaihtojärjestelmien välillä. [4, s. 32]

Suhteellisen kosteuden ja vesihöyrypitoisuuden vaihtelut näkyvät alla.

Taulukko 6. Lämpötilan (ΔT), suhteellisen kosteuden (ΔRH) ja vesihöyrypitoisuuden (Δv) vuorokausiamplitudien vertailu eri jakaumaryhmien välillä sekä kesä- (K) että talvijaksolla (T).

	Kesä: 01.07.2002...10.09.2002 Talvi: 01.12.2002...28.02.2003						Kesä: 04.07.2003...25.08.2003 Talvi: 01.12.2003...29.02.2004					
	ΔT , [°C]		ΔRH , [%]		Δv , [g/m ³]		ΔT , [°C]		ΔRH , [%]		Δv , [g/m ³]	
	K	T	K	T	K	T	K	T	K	T	K	T
Painovoimainen iv.	2,5***	2,2***,**	9	5	2,0	1,2	1,8	1,5	9	6	2,0	1,3*
Koneellinen poisto iv.	2,1***	1,5**	10***	6	2,2**	1,5	2,0**	1,4	10**	7	2,3***	1,6*
Koneellinen tulo-poisto iv.	1,6***	1,5***	8***	6	2,0**	1,3	1,6**	1,4	8**	6	2,0***	1,3
Vesihöyryä läpäisevä vaipparakenne	1,8	1,5	9	6	2,1	1,4	1,8	1,3	8	6	2,0	1,3
Vesihöyrytiivis vaipparakenne	1,8	1,6	8	6	2,0	1,3	1,7	1,5	9	7	2,1	1,4
Hygroskooppinen sisäpinta	1,8	1,5	8*	6	1,9*	1,3	1,6	1,3*	9	6	2,1	1,4
Ei-hygroskooppinen sisäpinta	1,8	1,6	9*	6	2,1*	1,4	1,9	1,5*	9	7	2,1	1,4
Lattialämmitys		1,6		6		1,4		1,3		6		1,3
Patterilämmitys		1,5		6		1,4		1,3		7		1,4
Kaikki kohteet	1,8	1,6	9	6	2,0	1,3	1,7	1,4	9	6	6	1,4

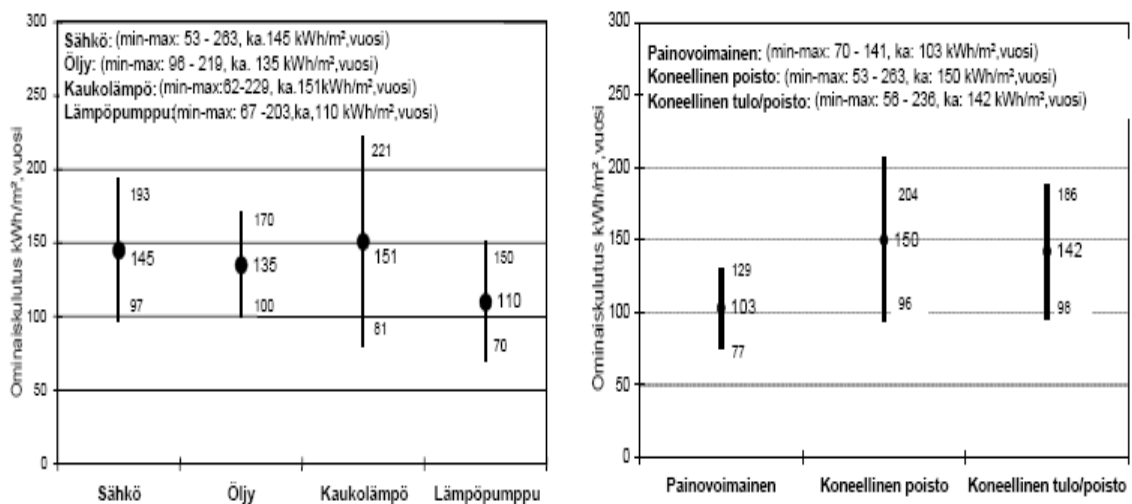
*** erittäin merkitsevä ($p < 0.001$); ** merkitsevä ($p < 0.01$) tai * melkein merkitsevä ($p < 0.05$) ero jakaumaryhmien välillä. [4, s. 32]

5.6 Koekohteiden lämmitysenergian ominaiskulutus

83 koekohteen ominaiskulutusta analysoitiin asukkailta kerättyjen energiakulutustietojen perusteella. Ominaiskulutukset ovat kokonaiskulutuksia, joihin sisältyy lämmitys, ilmanvaihto, lämpimän käyttöveden valmistus, valaistus, kotitaloussähkö ja ym. mahdollinen sähkö. Ominaiskulutukset on laskettu rakennusten lämmintä lattiapinta-alaa ja tilavuutta kohti. Keskimääräinen vuosikulutus oli 141 kWh/m² (vaihteluväli 53...263 kWh/m²) ja 56 kWh/m³ (vaihteluväli 24...105 kWh/m³). [4, s. 35.]

Koekohteiden ominaiskulutuksen keskiarvo oli painovoimaisessa ilmanvaihdossa 103 kWh/m² vuosi. Koneellisella poistoilmanvaihdolla kulutus oli 150 kWh/m² vuosi ja koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla 142 kWh/m² vuosi.

Ero on 8 kWh/m², eli jos sähkö maksaa 0,065 €/kWh, ero rahassa mitattuna on 0.52 € neliölle. Sadan neliön talossa tämä tekee 52 € vuodessa.



Kuva 14. Koekohteiden ominaiskulutuksen keskiarvo ja keskihajonta eri lämmitysjärjestelmien ja ilmanvaihtojärjestelmien vertailussa. [4, s. 36]

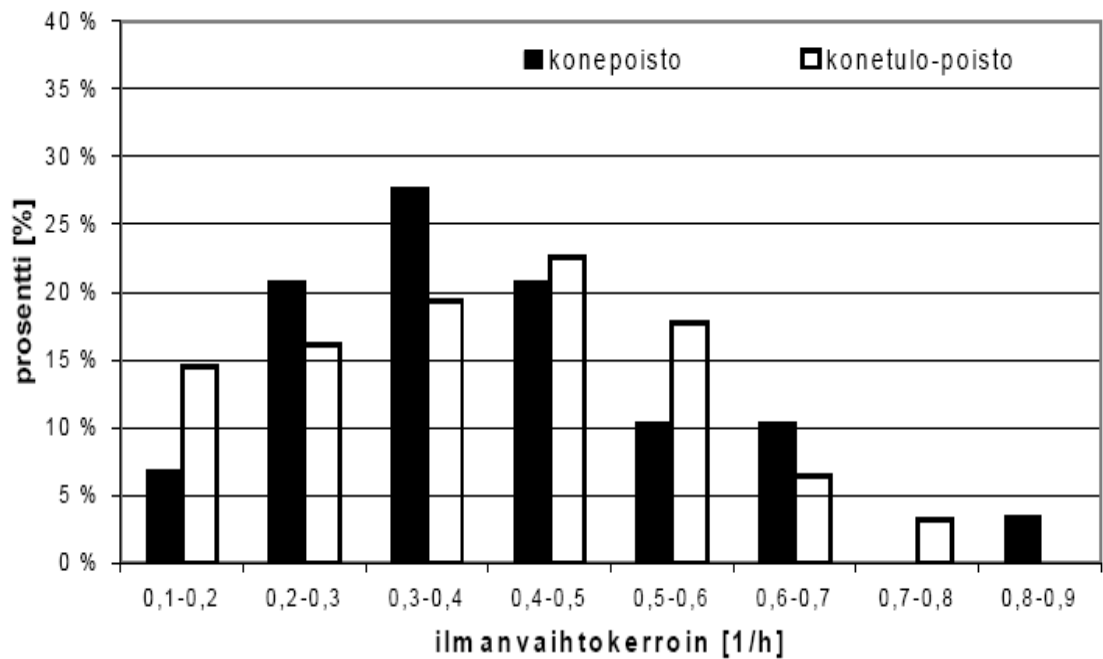
Eri ilmanvaihtojärjestelmien välillä ei havaittu ominaiskulutuksessa selvää eroa. Näin ollen myöskään koneellisen tulo-poistoilmanvaihdon yhteydessä käytetyllä lämmön talteenotolla ei näyttänyt olevan vaikutusta talojen kokonaisenergiakulutukseen. Tutkimuksen perusteella ihmisten elintavat ja asumistottumukset näyttävät olevan suurin energiakulutukseen vaikuttava tekijä. Esimerkiksi sisälämpötilan taso vaikuttaa suoraan energiakulutukseen. [4, s. 37]

6 KOEKOHTEIDEN ILMANVAIHTOJÄRJESTELMIEN MITTAUKSET

Poistoilma-määrät ja rakennuksen painesuhde ulkoilmaan mitattiin kaikissa eri ilmanvaihtojärjestelmän säätöasunnoissa. Merkkiainemittaus, jolla mitattiin ilmanvaihtokerrointa, tehtiin talvella.

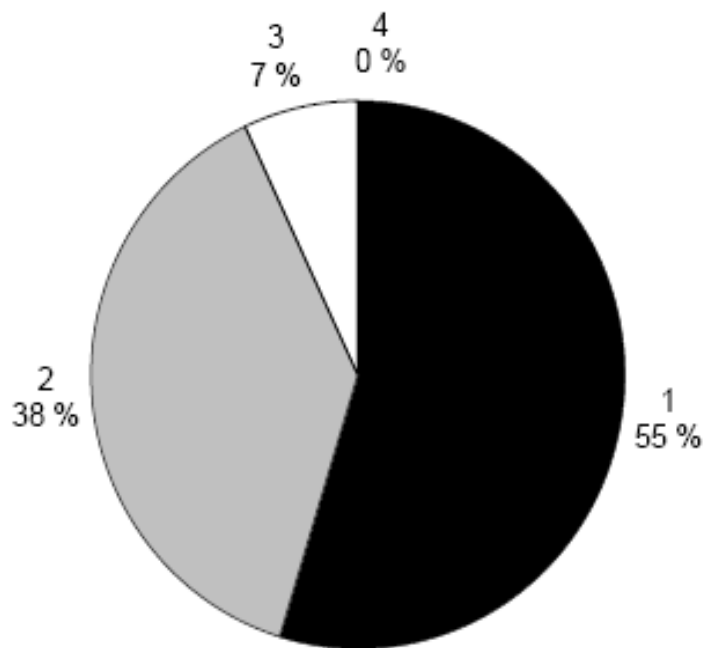
6.1 Kertamittaus

Kuvassa 15 on esitetty ilmanvaihtokoneiden toiminnallinen tilanne kertamittauksen osalta. Ilmanvaihtokerroin on laskettu mitattujen poistoilmamäärien perusteella.



Kuva 15. Koneellisen poiston ja tulo-poiston mittaustulokset. Kohteet on järjestetty IV-koneen käyttöasennolla mitatun ilmanvaihtokertoimen mukaisesti. Keskiarvot ovat koneellisella poistolla 0,37 1/h ja koneellinen tulo-poisto 0,40 1/h. [4. s. 58]

Tyypillisesti tulo- ja poistoilmanvaihtokoneissa on 4–8 nopeusporrasta. Pelkästään koneellista poistoa käyttävissä kohteissa käytettiin myös portaattomia säätimiä. Kertamittauksen mukainen ilmanvaihtokoneiden käyttöasentojen jakauma, kun koneet on skaalattu 4-portaiseksi, antaa kuvan 15 mukaisen tuloksen. Yli puolet koneista kävivät pienellä nopeudella (käyttöasento 1). Käyttöasennolla tarkoitetaan tässä sitä nopeutta, jolla ilmanvaihtojärjestelmän konetta jatkuvasti käytetään. [4, s. 58.]



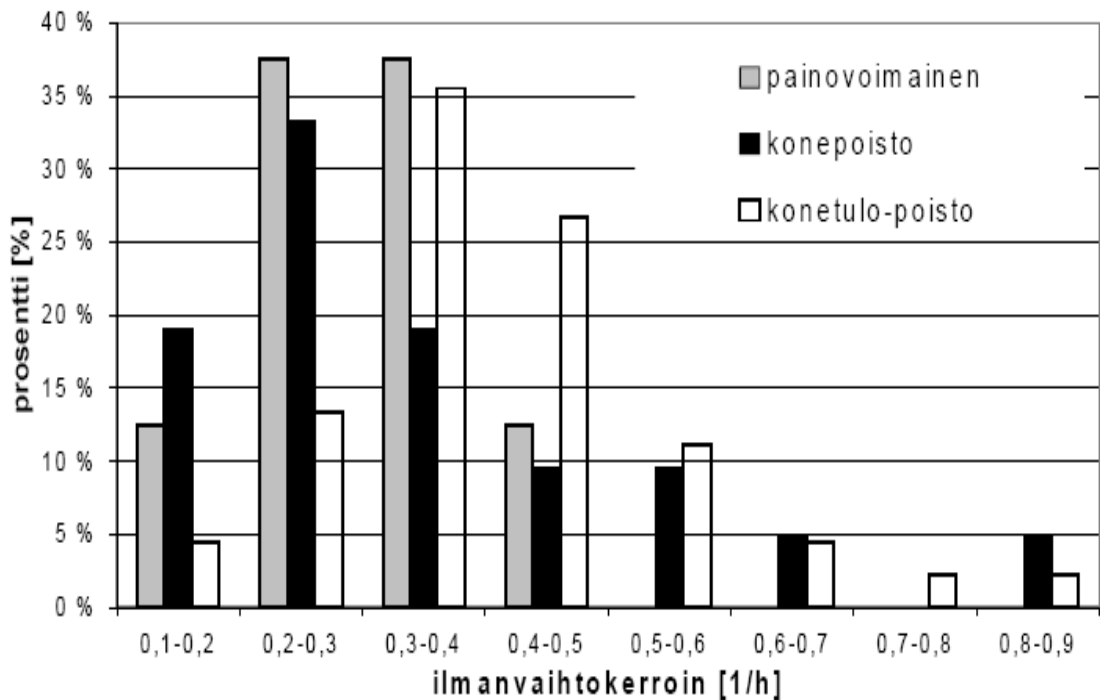
Kuva 16. Koneellisen ilmanvaihdon käyttöasennon jakauma.

Kohteita on mukana 86 kpl. 55 %:ssa tapauksista IV-koneita käytettiin asennossa 1, 38 % IV-koneista oli asennossa 2 ja 7 % asennossa 3. Suurimmalla nopeudella, jos koneessa oli säätövaraa, ei käytetty yhtäkään konetta. [4, s. 59]

Molemmilla koneellisilla ilmanvaihtojärjestelmillä saavutettaisiin 0,5 vaihtoa tunnissa asennoilla 3 tai 4. Järjestelmät on yleensä suunniteltu ja mitoitettu käytettäväksi nopeuksilla 3/4, 4/6 tai 6/8. Pienimmät nopeudet (1–2/4) on tarkoitettu lähinnä poissaolo-asennoiksi. Kun selvitettiin ilmanvaihtojärjestelmien käyttöä ja toiminnan tasoa, ilmeni että ilmanvaihtojärjestelmiä käytettiin monesti pienimmillä nopeuksilla tai ne oli jopa kokonaan suljettu. Merkittävä syy tähän oli IV-koneiden äänitason nousu suuremmilla käyntinopeuksilla. [4, s. 60.]

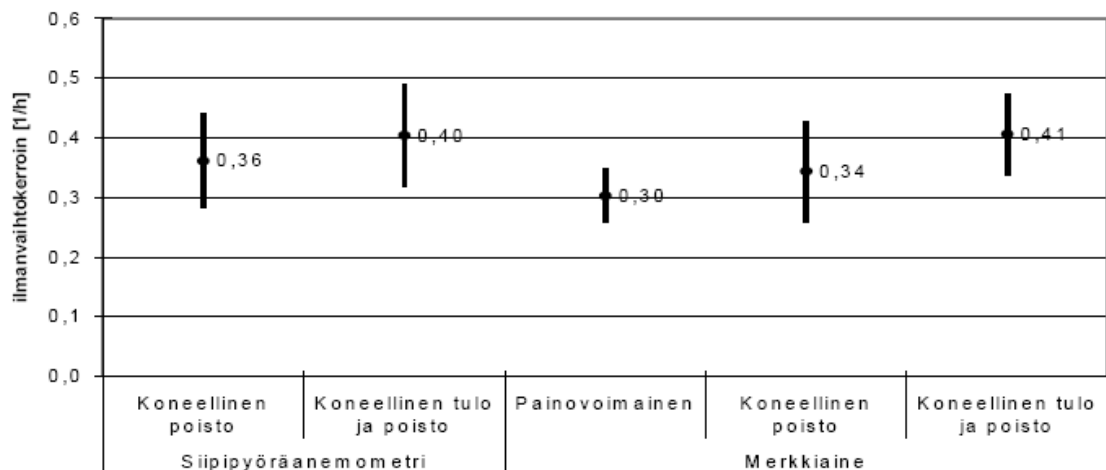
6.2 Merkkiainemittaus

Merkkiainemittaukset suoritettiin luvussa 4.1.2. esitellyllä tavalla.



Kuva 17. Ilmanvaihtokertoimien jakauma merkkiainemittausten perusteella. [4, s. 62]

Seuraavassa kuvassa näkyvät eri ilmanvaihtojärjestelmien ilmanvaihtokertoimet.



Kuva 18. Merkkiainemittausten ja siipipyöräänemometrillä suoritettujen mittausten keskiarvot ja keskihajonnat ilmanvaihtotapakohtaisesti. [4, s. 60]

Keskiarvoja vertailtaessa voidaan havaita, että kaikkien IV-järjestelmien ilmanvaihtokertoimet osuvat alueelle 0,3–0,41 1/h. Painovoimaisten ja koneellisen poiston kohteiden keskiarvot ovat hieman pienempiä kuin koneellisten tulo-poisto-järjestelmien.

Merkkiainemittausten perusteella kaikista järjestelmistä löytyy hyvin suunniteltuja ja toimivia ratkaisuja talviolosuhteissa. Ilmanvaihtojärjestelmän tulisi kuitenkin toimia jatkuvasti ulkoilman vaikutuksesta huolimatta. [4, s. 63.]

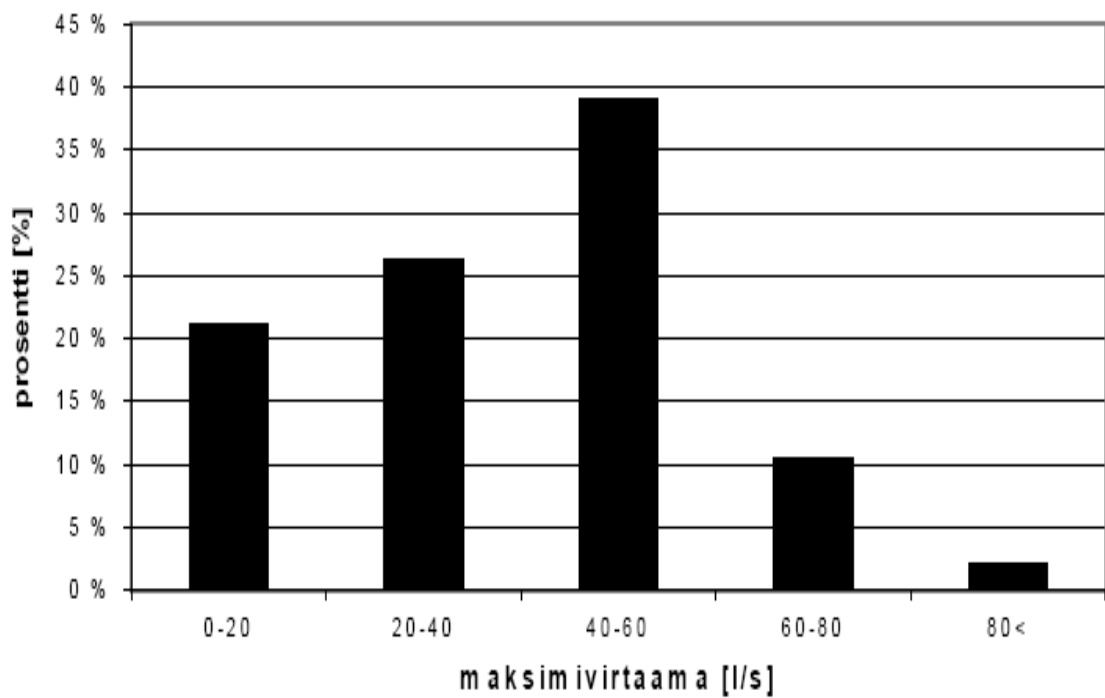
6.3 Keittiön ilmanvaihto

Liesikuvun ilmavirta 25 l/s (RakMK D2 2003 suositus) ei toteutunut kaikissa kohteissa. Keittiön yleispoiston ilmavirrat eivät olleet suhteessa koko rakennuksen ilmanvaihtokertoimeen.

Varsinkin koneellisella poistoilmanvaihdoilla varustettujen kohteiden ilmanvaihdon tehostus liesituulettimella jäi vähäiseksi monessa kohteessa.

Selvimmät syyt keittiön liesituulettimen tehottomuuteen olivat seuraavat: liesituulettimen puhallin oli alimitoitettu ja/tai suodatin puhdistamatta. [4, s. 65.]

Maksimivirtaamat liesituulettimilla olivat riittävät. Vain 21 % kaikista liesituulettimista jäi alle 30 l/s suurimmalla nopeudella. 50 % liesituulettimista toimi yli 50 l/s -tasolla maksiminopeudella. Liesituulettimien äänenpainetasoja ei mitattu, koska käytännössä käyttöaika on vähäistä, kun oletetaan liesituuletinta käytettävän vain ruoan laitton yhteydessä. [4, s. 66.]



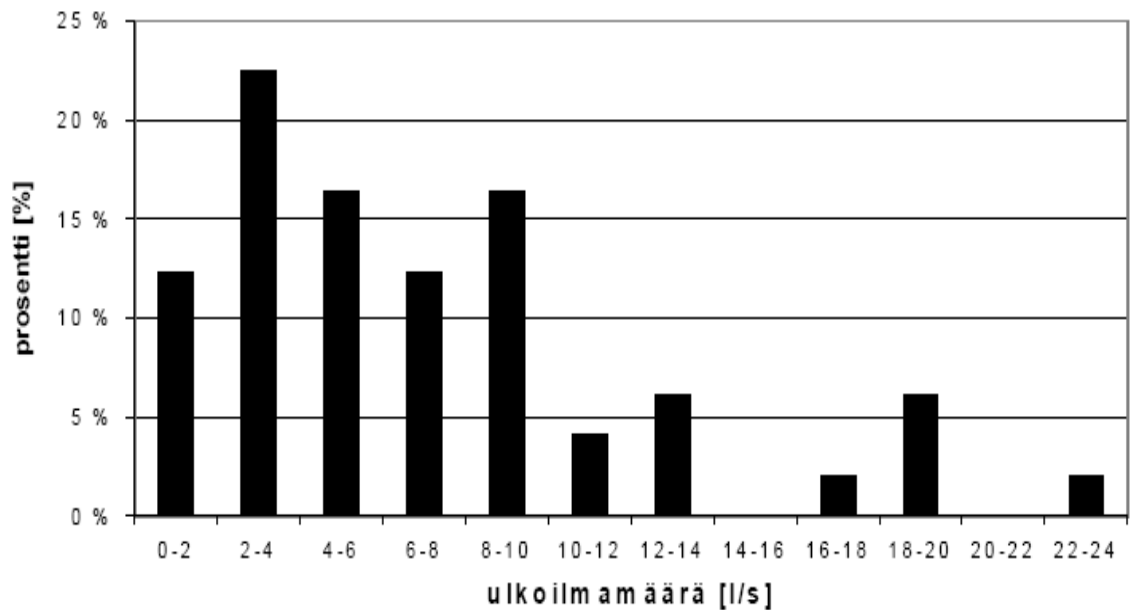
Kuva 19. Liesituulettimen maksimipoistoilmavirrat. [4, s. 66]

6.4 Makuuhuoneen ilmanvaihto

Tuloilmavirtoja on verrattu Sisäilmastoluokituksen 2000 (2001) arvoihin: S1 12 L/s hlö, S2 8 L/s /hlö, S3 6 L/s /hlö. Näistä S3-luokka on sama kuin RakMK D2 (2003) ohjearvo. Tuloilmamäärät olivat vähäisiä sekä merkkiainemittauksen että pääte-elimistä tehdyn staattisen paine-eromittauksen perusteella. Joissakin yksittäisissä kohteissa ilmamäärät olivat riittäviä S2-luokkaan.[4, s. 67.]

Tuloilmamäärien jakauma on esitetty kuvassa 19. Tuloilmamäärät jäivät 83 %:ssa kohteista alle RakMK D2:ssa (2003) annetun ohjearvon 12 l/s henkilöä kohden. Vain kolmessa kohteessa tavoitettiin riittävä taso kahden henkilön makuuhuoneelle (24 l/s). Mittausten perusteella makuuhuoneen tuloilmamäärät olivat riittämättömiä, keskimäärin vain 2,1 l/s/hlö (tavoitearvo sisäilmastoluokassa S3 6,0 l/s/hlö).

Makuuhuoneiden tuloilmamäärät jäivät 83 %:ssa kohteissa alle normien.

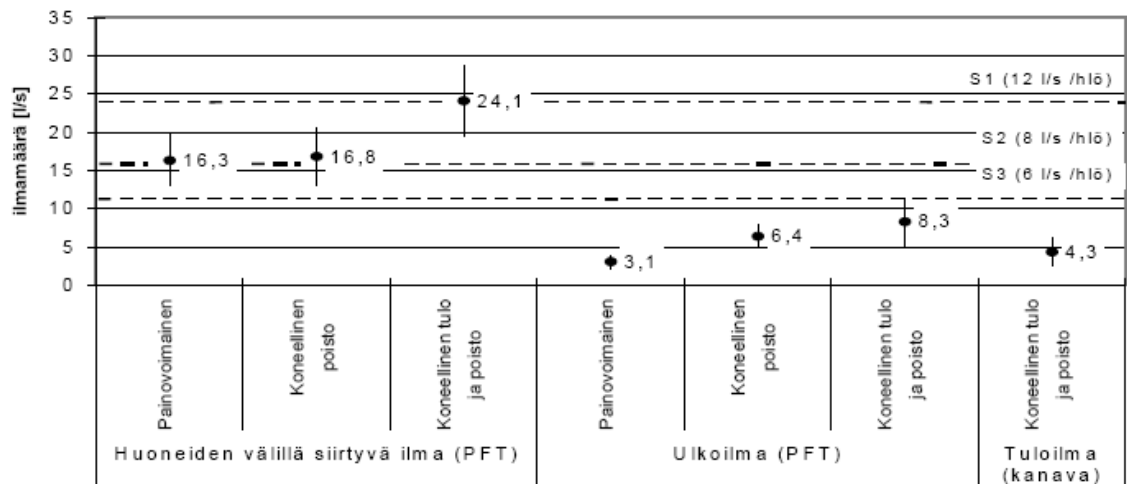


Kuva 20. Makuuhuoneisiin tulevat ulkoilmamäärät merkkiaineella mitattuna.

Joissakin makuuhuoneissa oli poistoilmaventtiili, mutta poistoilmamäärät olivat vähäisiä. Varsinkin koneellisen poiston kohteissa makuuhuoneen poistoilmaventtiilin poistamat ilmamäärät ovat riittämättömiä, jos makuuhuoneen ovi pidetään kiinni yöaikaan. Makuuhuoneen oven auki pitäminen lisää ilman siirtymistä makuuhuoneen ja muun asunnon välillä. [4, s. 67.]

Makuuhuoneiden kiertoilmamäärästä näkyy että koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdoilla varustetuissa kohteissa on makuuhuoneisiin siirtyvä kokonaisilmamäärä suurempi kuin muissa järjestelmissä. [4, s. 67.]

Makuuhuoneiden kiertoilmamäärissä näkyy tulo- ja poistoilmanvaihdon tehokkuus.



Kuva 21. Makuuhuoneen kiertoilmamäärät ja tuloilmamäärät eri järjestelmissä.

Kuvasta 21 nähdään, että ilman siirtyminen muista tiloista makuuhuoneeseen oli keskimäärin lähes samalla tasolla painovoimaisissa ja koneellisen poistoilmanvaihdon kohteissa. Siirtyvä kokonaisilmamäärä oli suurempi koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon kohteissa. Asukaskyselyn mukaan makuuhuoneiden ovet olivat samalla tavalla avoinna mittauskohteissa ilmanvaihtojärjestelmästä riippumatta. [4, s. 69.]

6.5 Äänitasomittaukset

Äänimittauksilla pyrittiin selvittämään ilmanvaihtokoneen aiheuttamaa melua ja sen mahdollisia vaikutuksia asumisviihtyvyyteen ja ilmanvaihtojärjestelmän käyttöön.

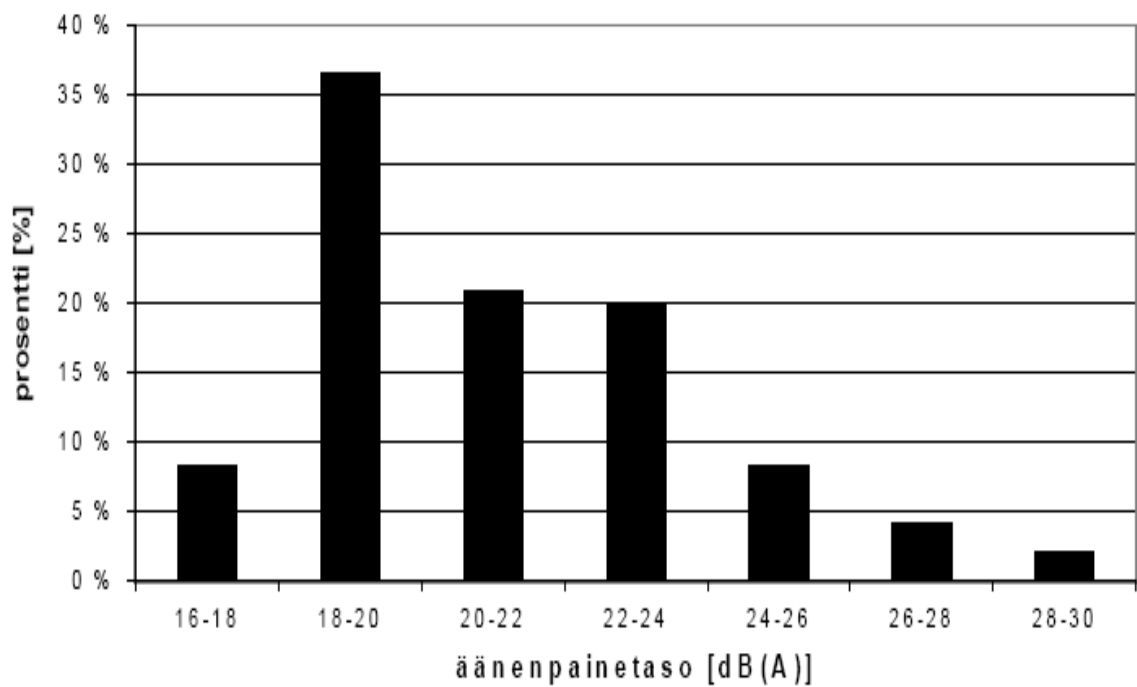
Asuinhuone kuuluu S1-luokkaan, kun äänitaso on alle 25 dB(A) (Sisäilmastoluokitus 2000, 2001). Uuden SFS 5907 (2004) standardin mukaan äänenpainetason tulisi olla alle 24 dB(A). Äänimittausten perusteella äänitasojen vaihteluväli oli makuuhuoneissa 17–43 dB(A) ilmanvaihtokoneen käyntiasennon vaihdellessa maksimi- ja minimiasennon välillä. Olohuoneissa vastaava vaihteluväli oli 17–41 dB(A).

Kuvista 22 ja 23 voidaan havaita, että koneellisen tulo- ja poistojärjestelmän äänitason vaihteluväli on keskimäärin suurempi kuin koneellisen poistojärjestelmän. Todennäköinen syy on ilmanvaihtokoneen sijoituspaikka.

Koneellisen poiston koneet ovat yleensä huippuimureita, jotka ovat poistokanavan päässä katolla ja koneellisen tulo-poiston koneita on tavallisesti sijoitettu myös huonetiloihin.

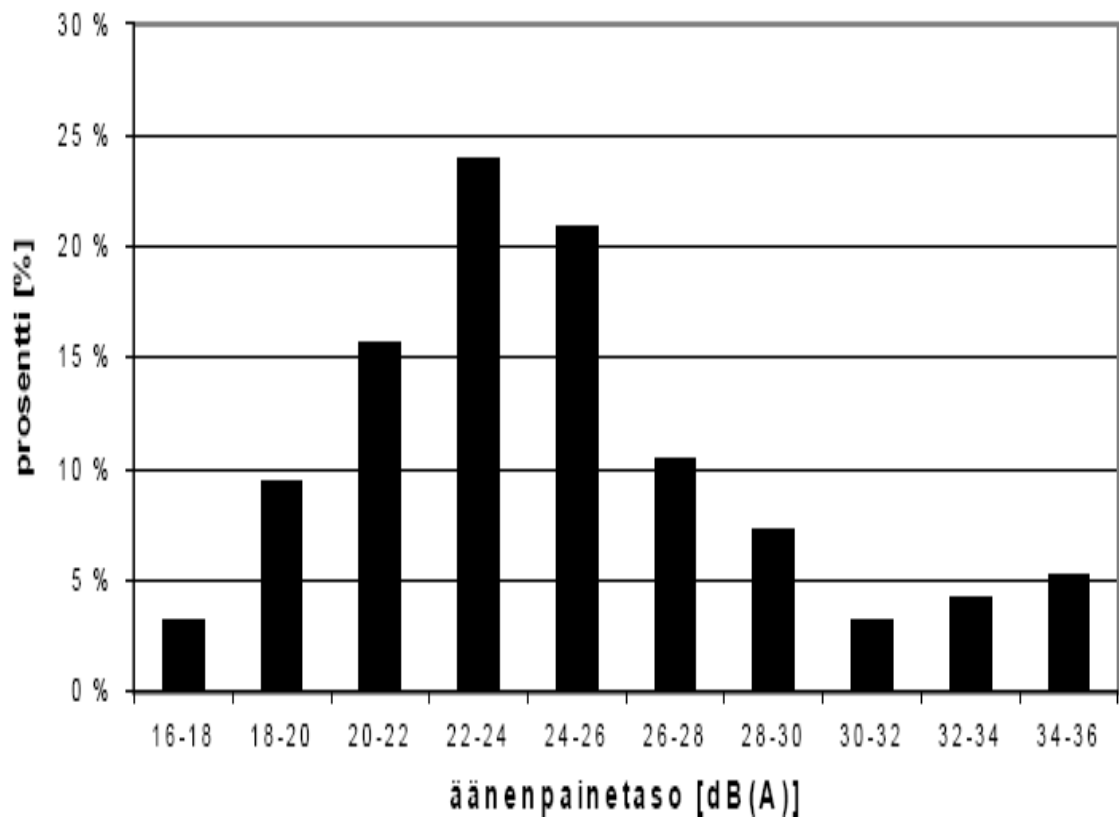
Painovoimaisten rakennusten makuuhuoneissa äänenpainetaso syntyy taustäänestä, eikä siinä ole huomioitu liesituulettimien mahdollisesti tuottamaa ääntä. [4, s. 71.]

Kuvasta 22 käy ilmi, että suurimmat äänenpainetasot liikkuvat 36 desibelin lukemissa, mutta prosentuaalisesti niiden määrä on 5 %:n luokkaa.



Kuva 22. Makuuhuoneiden äänenpainetasojen jakauma normaalissa on seuraavanlainen käyttötilanteessa. [4, s. 71]

Olohuoneiden äänenpainetaso havaittiin suurimmaksi osaksi määräysten mukaisiksi vaikka asukkaat kokivat nekin häiritsevinä.



Kuva 23. Olohuoneen äänenpainetasojen jakauma normaalissa käyttötilanteessa [4, s. 71]

Sisäilmaluokitus 2000

Taulukko 7. Akustisten olosuhteiden tavoitetasot. Sisäilmastoluokitus 2000.

		Yksikkö	Sisäilmastoluokka			Huom.
			Enimmäisarvot			
			S1	S2	S3	
Lämmitys- ja ilmastointilaitteiden äänitaso	Toimistot	$L_{A,eq,T}$ (dB)	30	33	33	(I)
	Asuinhuoneiston keittiöt	$L_{A,eq,T}$ (dB)	30	33	33	(I)
	Muut asuinhuoneet	$L_{A,eq,T}$ (dB)	25	28	28	(I)

Makuuhuoneiden osalta tuloksissa on havaittavissa selvä painotus 18–20 dB(A):n kohdalla normaalissa käyttötilanteessa. Olohuoneen äänenpainetason jakauma keskittyy 22–26 dB(A):n kohdalle.

Makuuhuoneessa mitattujen äänen painetasojen keskiarvo käyttöasennossa oli 22 dB(A) ja vaihteluväli 16–30 dB(A). Ilmanvaihtolaitteen käyttöasennon valinnan ja saavutettavan äänitason perusteella voidaan todeta, että keskimäärin 22 dB(A) äänenpainetaso makuuhuoneissa koettiin hyväksyttävänä.

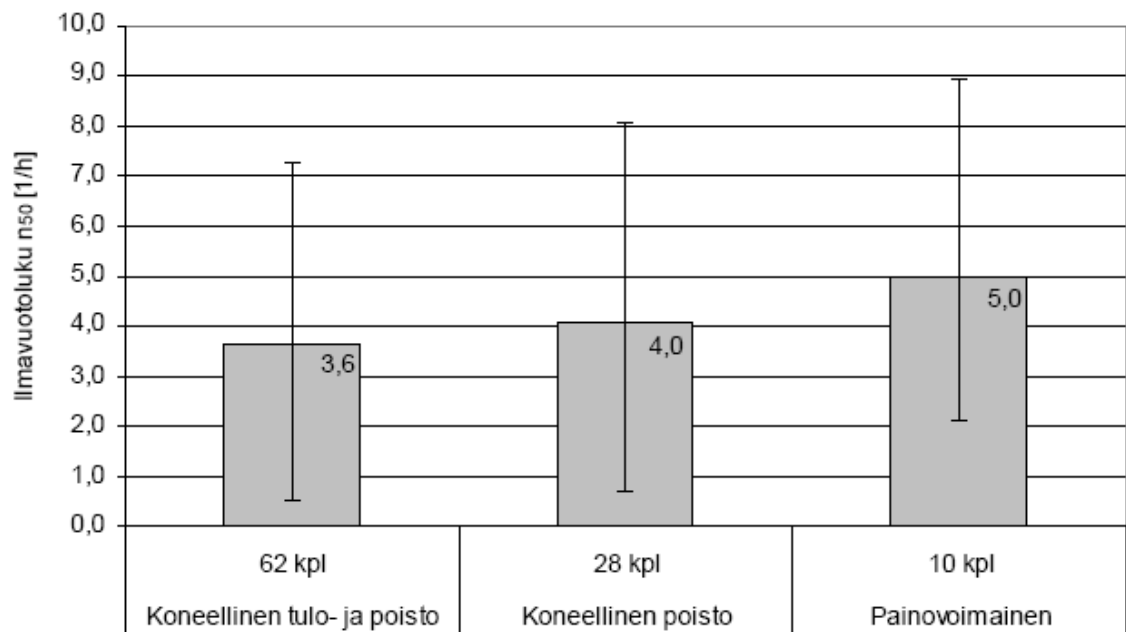
Tarkasteltaessa ilmanvaihtokoneiden makuuhuoneisiin tuottamia äänitasoja ja vertaamalla äänitason kuvaajaa käyntinopeuskuvaajaan voidaan havaita, että monet koneet on asetettu toimimaan asennoilla 1 tai 2 pienimmällä mahdollisella äänitasolla.[4, s. 72.]

6.6 Ilmatiiviys

Suomessa ei tällä hetkellä ole yksiselitteistä määräystä rakennusten ilmatiiviydestä. Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C3 (2003) kuitenkin suositellaan, että ilmanvaihtojärjestelmän toiminnan kannalta rakennuksen ilmavuotoluvun tulisi olla mielellään lähellä arvoa 1,0 1/h. Tässä tutkimuksessa ilmavuotoluvun 1,0 1/h alitti 5 % puurunkoisista pientaloista. Myöskään niiden kohteiden, joissa oli koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä, ilmavuotoluvut (ka. 3,6 1/h) eivät olleet vielä lähellä tätä suositusta.

Saadut tulokset antavat hyvän kuvan suomalaisten puurunkoisten pientalojen ilmatiiviydestä. Ilmatiiviyteen vaikuttaa vaikeammin mitattavissa oleva rakentamisen laatu. Näin ollen tulosten hajonta samankaltaisilla taloilla alleviivaa rakennustyön tärkeyttä hyvän ilmatiiviyden saavuttamisessa. Ilmatiiviin talon rakentamiseen tarvitaan ennen kaikkea motivaatio. Kun halutaan tehdä ilmatiivis talo ja kiinnitetään siihen huomiota niin rakennedetaljien suunnittelussa kuin itse työn suorituksessa, saadaan aikaan hyvä lopputulos. Tällöin ei niinkään ole väliä, mitä rakennusmateriaalia käytetään tai millä rakennustavalla talo tehdään. [4, s. 79]

Ilmatiiviyteen vaikuttaa vaikeammin mitattavissa oleva rakentamisen laatu.



Kuva 24. Kohteiden n_{50} -luku on jaoteltuna ilmanvaihtotavan mukaan. Kuvassa näkyy keskiarvo ja joukon pienin ja suurin arvo. [4, s.79]

Ilmavuotoluku n_{50} voidaan laskea kaavan mukaan. Ilmavuotoluku n_{50} ilmoittaa, kuinka monta kertaa rakennuksen tilavuuden suuruinen ilmamäärä vaihtuu tunnissa, kun paine-ero rakennuksen sisä- ja ulkopuolen välillä on 50 Pa.

$$n_{50} = \frac{Q_{50}}{V}$$

n_{50} = rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pa paine-erolla [1/h]

Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pa paine-erolla [m³/h]

V = rakennuksen/mitattavan osan sisätilavuus [m³]

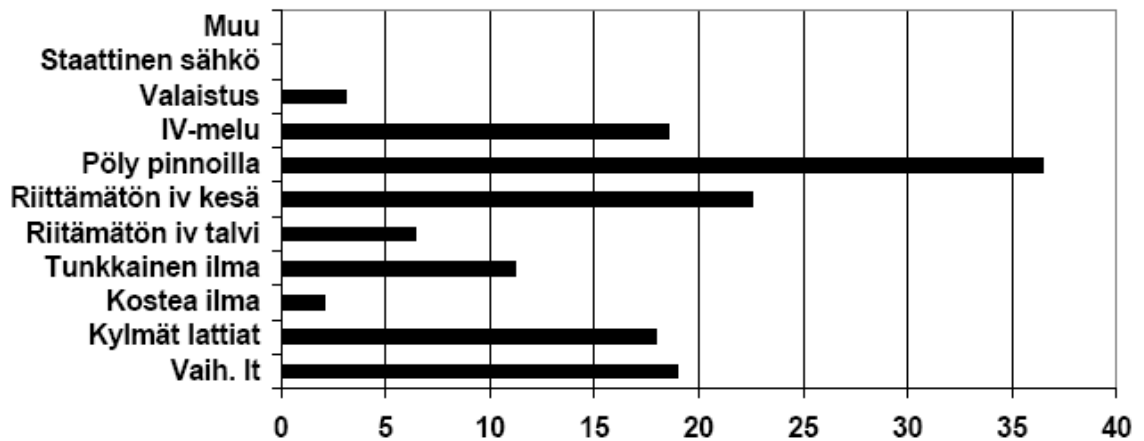
6.7 Asukaskysely ja sisäilmasto-ongelmien esiintyvyys

Selkeästi yleisimmäksi sisäilmasto-ongelmaksi koettiin pölyiset pinnat. Pintojen pölyntyminen on tunnettu koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon liitetty ns. haittatekijä.

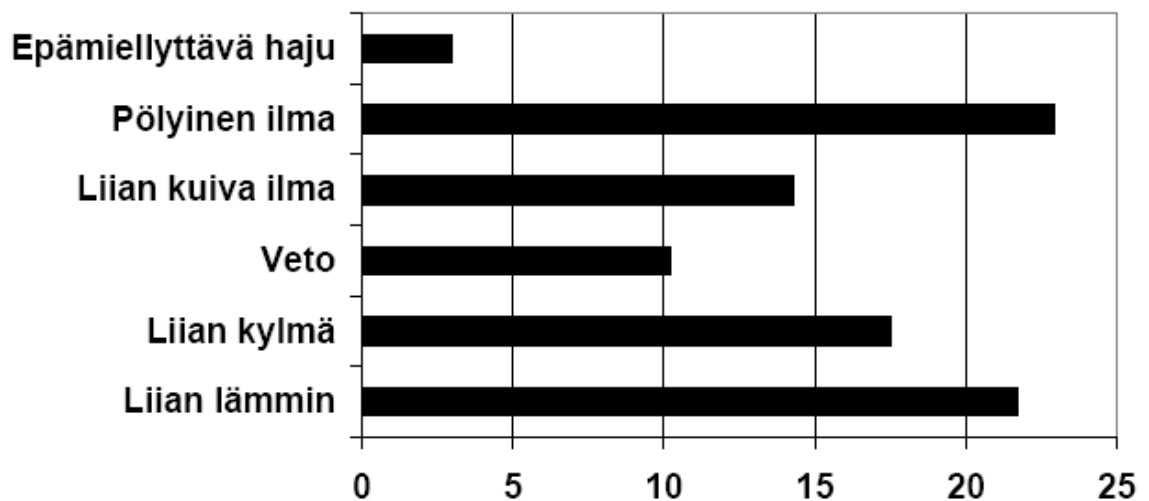
Ilmiö aiheutunee suuremmista hiukkasten depositiokertoimista sisäilmanpuhallusta käytettäessä. Depositiokerroin ilmoittaa kuinka nopeasti tietyn kokoinen hiukkanen poistuu huonetilasta joko laskeutumalla lattialle tai takertumalla seiniin ja huonekaluihin. Lopputuloksena on puhtaampi huoneilma samalla ilmamäärällä kuin muita ilmanvaihtoratkaisuja käytettäessä.

Riittämätön ilmanvaihto kesällä ja ilmanvaihtomelu olivat yleisimmät ilmanvaihtoon liittyvät ongelmat. Kylmät lattiat ja vaihteleva huonelämpötila olivat keskeiset lämpöolo-ongelmat.[4, s. 81.]

Sisäilmasto-ongelmat asukaskyselyn tuloksena ovat kaavioissa esitettyinä.



Kuva 25. Sisäilmasto-ongelmien esiintyvyys. [4, s. 81]



Kuva 26. Sisäilmasto-ongelmien esiintyvyys kerran viikossa tai useammin. [4, s. 81]

Kuvista 26 ja 27 nähdään, että keskimäärin n. 80 % vastaajista oli varsin tyytyväisiä sisäilman lämpötila- ja kosteusolosuhteisiin. Kuitenkin aikaisemmin todettiin, että asuntojen lämpötila- ja kosteusolosuhteet eivät täyttäneet Sisäilmastoluokituksen 2000 (2001) antamia S1 ja S2 luokan ohjearvoja. S3 luokan lämpötilan ohjearvotkin täyttyivät vain pienessä osassa kohteita talvikaudella.

Sisäilmastoluokitus 2000

S1: Yksilöllinen sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä ja lämpöolot ovat viihtyisät kesällä ja talvella. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja ja tarvittaessa parantamaan sisäilman laatua tehostamalla ilmanvaihtoa. Lämpöolot ja ilman laatu täyttävät pääsääntöisesti myös käyttäjien erityisvaatimukset (esim. vanhusväestö, allergikot, hengityselinsairaat).

S2: Hyvä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on hyvä ja lämpöolot vedottomat. Kesän kuumimpina päivinä lämpötila nousee viihtyisän tason yläpuolelle.

S3: Tyydyttävä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot täyttävät säännösten tarkoittamat vähimmäisvaatimukset. Ilma saattaa ajoittain tuntua tunkkaiselta ja vedon tunnetta saattaa esiintyä. Yliämpeneminen on yleistä kuumina kesäpäivinä.

Sisäilmastoluokitus 2000 taulukosta näkyy lämpötilojen, ilman nopeuden ja ilman suhteellisen kosteuden enimmäisarvot.

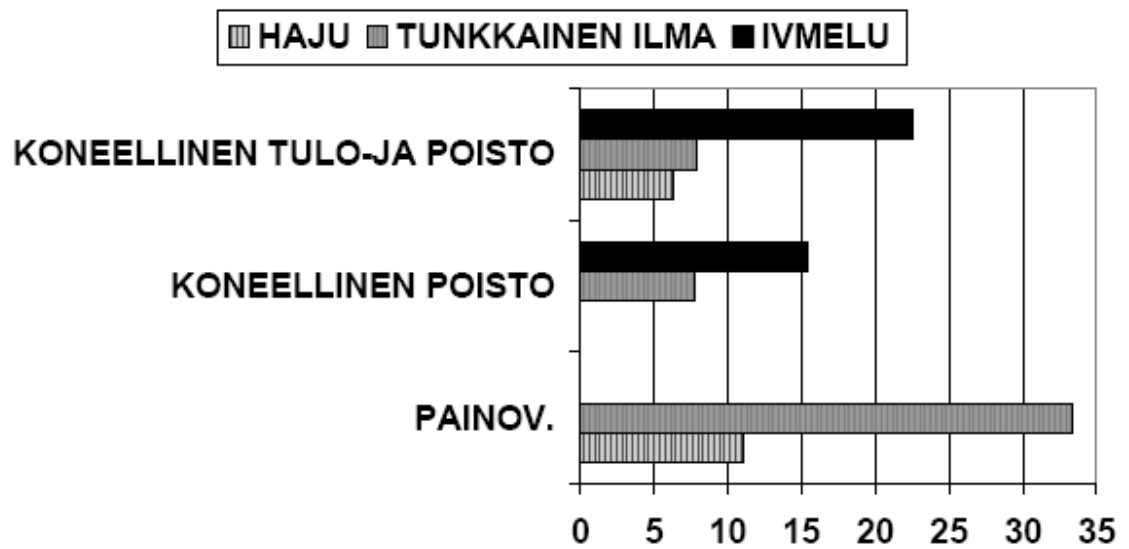
Taulukko 8. *Lämpöolojen tavoitearvot. Sisäilmastoluokitus 2000.*

			Yksikkö			Sisäilmastoluokka Enimmäisarvot	Huom.
						S1 S2 S3	
Huonelämpötila*	Talvi	°C	(21 - 22)*	20-22	20-23		(I)
	Kesä		(23 - 24)*	23-26	22-27 (35)		***
Huonelämpötilan tilapäinen poikkeama							
asetusarvosta **			°C	± 0,5	± 1	± 2	(I)
Lämpötilaero pystysuunnassa			°C	2	3	4	(II)
Lattian pintalämpötila			°C	19-29	19-29	17-31	(III)
Ilman nopeus	Talvi (20 °C)	m/s	0,13	0,16	0,19		(IV)
	Talvi (21 °C)	m/s	0,14	0,17	0,20		
Ilman nopeus	Kesä (24 °C)	m/s	0,20	0,25	0,30		(IV)
Ilman suhteellinen kosteus			Talvi	%	25 - 45	-	(V)

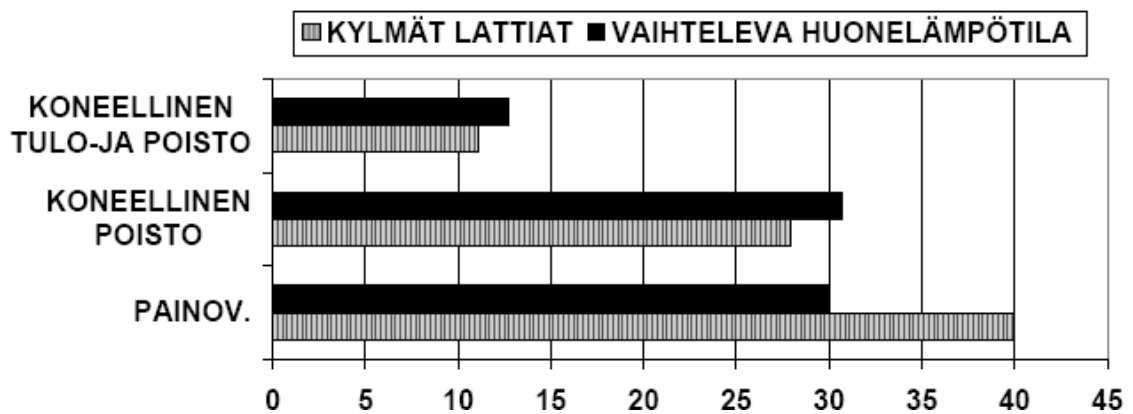
Pientaloissa, joissa oli painovoimainen ilmanvaihto esiintyi enemmän valituksia kylmistä lattioista sekä ilma koettiin tunkkaisemmaksi. Ilmanvaihtomelua esiintyi myös vähemmän.

Myös koneellisen poiston pientaloissa esiintyi merkitsevästi enemmän valituksia kylmistä lattioista ja vaihtelevasta huonelämpötilasta.

Seuraavissa taulukoissa esitellään asukaskyselyn tuloksia.



Kuva 27. Sisäilmasto-ongelmien esiintyvyys eri ilmanvaihtojärjestelmillä varustetuissa taloissa. [4, s. 83]



Kuva 28. Lämpöolo-ongelmien esiintyvyys eri ilmanvaihtojärjestelmillä varustetuissa taloissa. [4, s. 83]

Käytönaikaisen ilmanvaihtokertoimen vaikutusta sisäilmasto-ongelmien yleisyyteen testattiin tilastollisesti jakamalla pientalot ilmanvaihtokertoimen perusteella kahteen ryhmään ja tutkimalla esiintyykö ryhmien välillä eroja. Ilmanvaihtokertoimen arvoa muutettiin portaittain 0,20 ja 0,60 1/h välillä. Ilmanvaihtokerroin perustui päätelaitteista mitattuihin ilmavirtoihin asukkaan ilmoittamassa tyypillisessä ilmanvaihdon käyttöasennossa.

Ilmanvaihtokertoimen yhteys asukkaiden havaitsemiin ongelmiin esitetään alla olevissa taulukossa.

Taulukko 9. Asunnon ilmanvaihtokertoimen vaikutus asukkaiden havaitsemiin sisäilmaongelmiin [4, s. 84]

Ilmanvaihtokerroin	Ongelman esiintyvyys suhteessa ilmanvaihtokertoimeen
< 0,20 1/h VS: >0,20 1/h	Liian kuiva ilma ja haju < 0,20
< 0,25 1/h VS: > 0,25 1/h	Haju < 0,25
< 0,30 1/h VS: > 0,30 1/h	Haju < 0,30
< 0,35 1/h VS: > 0,35 1/h	
< 0,40 1/h VS: > 0,40 1/h	
< 0,50 1/h VS: > 0,50 1/h	Veto ja liian kuiva ilma > 0,50
< 0,60 1/h VS: > 0,60 1/h	Vaihteleva lämpötila, veto, liian kuiva ilma ja pöly > 0,60

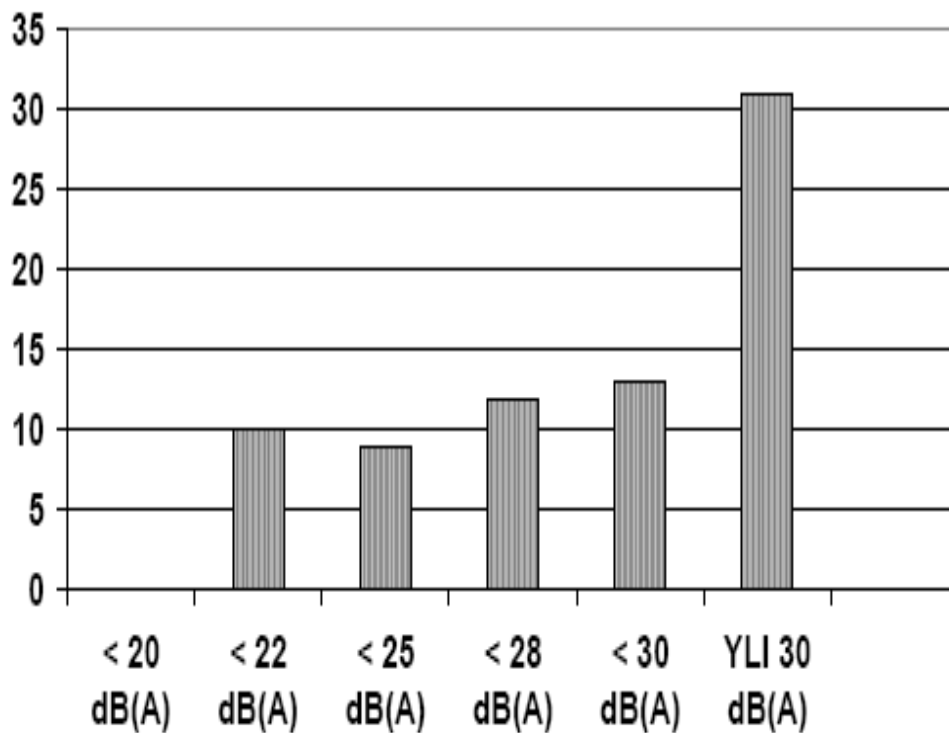
Alle 0,3 1/h ilmanvaihtokertoimella hajuongelman esiintyvyys oli tilastollisesti katsoen merkitsevästi yleisempää kuin jos ilmanvaihtokerroin oli suurempi kuin 0,3 1/h. Sisäilma koettiin useammin kuivaksi kun ilmanvaihtokerroin oli alle 0,2 1/h.

Asunnoissa, joiden käyttöilmanvaihto oli vähintään 0,5 vaihtoa tunnissa esiintyi enemmän vetoa ja ilman kuivuutta kuin asunnoissa, joiden ilmanvaihtokerroin oli alle 0,5 1/h. Molemmilla sisäilmaongelmilla on luonnollinen kytkentä ilmanvaihdon suuruuteen. Asunnoissa, joissa käyttöilmanvaihto oli yli 0,6 1/h esiintyi lisäksi pölyisyyttä enemmän kuin muissa asunnoissa.

Yhteenvedona näistä tuloksista voidaan todeta, että ilmanvaihtokertoimen optimiarvo pientaloissa on 0,3 – 0,5 1/h keskimääräisellä asumistiheydellä. Näin ollen RakMK D2:ssa (2003) annetun ilmanvaihtokertoimen arvon 0,5 1/h saavuttaminen ei ole pientaloissa aina tarpeellista.[4, s. 95.]

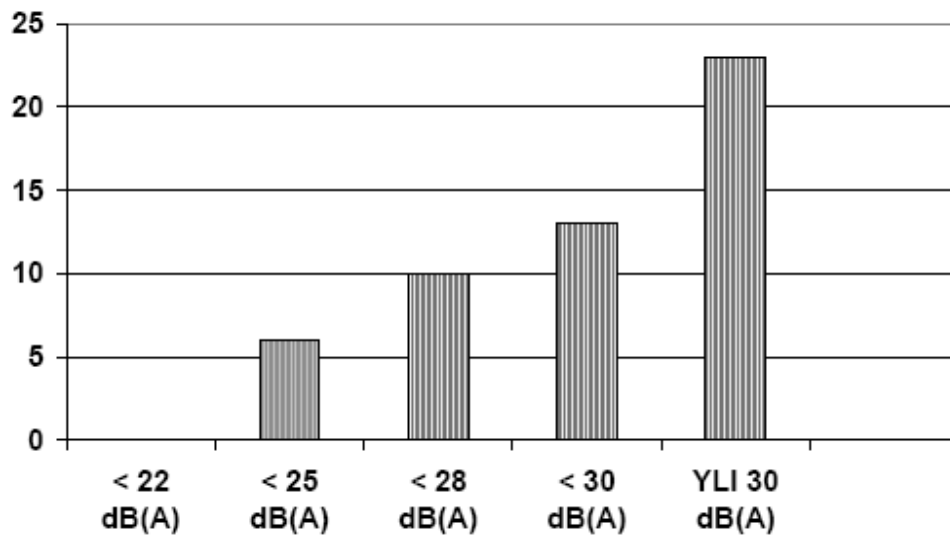
6.8 Ilmanvaihtomelu ja sen häiritsevyys

Asukkaat kokivat jopa parhaan S1-luokan äänitason raja-arvon 25 dB(A) hiukan liian korkeaksi etenkin makuuhuoneissa.



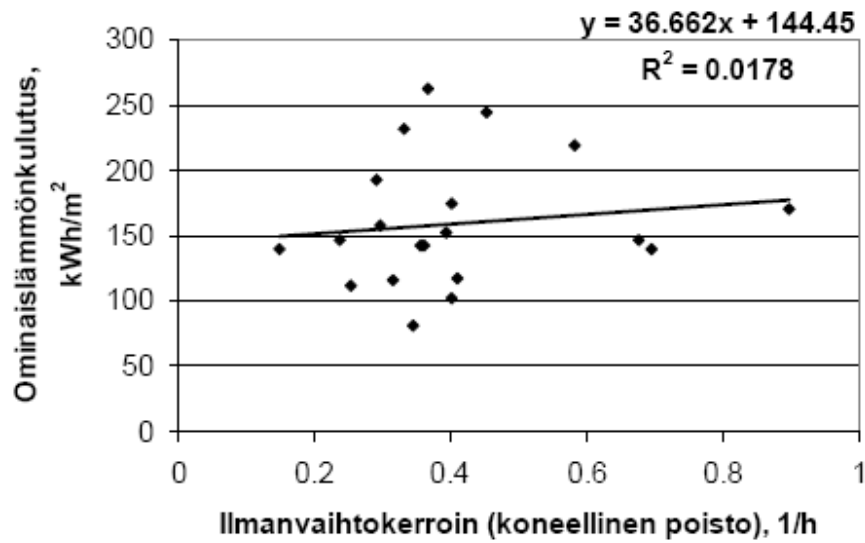
Kuva 29. Ilmanvaihtomelun kokeminen häiritsevänä makuuhuoneessa eri maksimiäänitasoilla. [4, s. 87]

Ilmanvaihtomelun koki häiritsevänä 23 % asukkaista kun äänitaso ylitti 30 desibeliä.



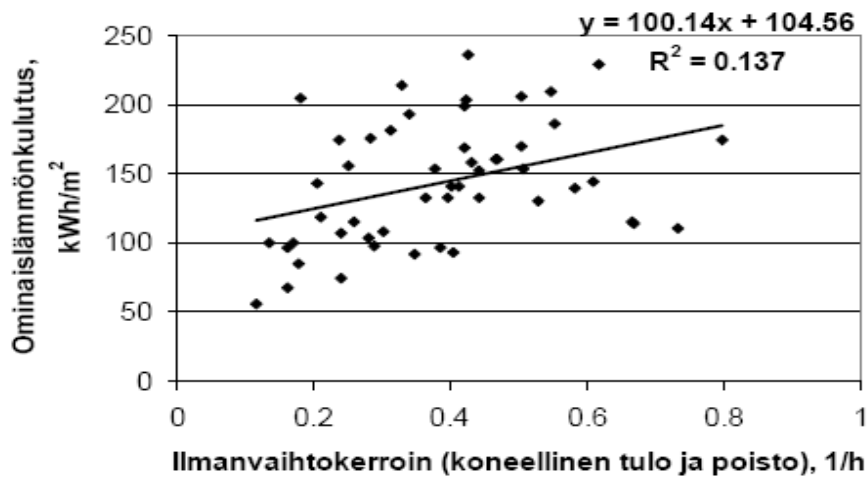
Kuva 30. Ilmanvaihtomelun kokeminen häiritsevänä olohuoneessa eri maksimiäänitasoilla. [4, s. 87]

6.9. Asunnon käyttöilmanvaihdon vaikutus lämmönkulutukseen



Kuva 31. Asunnon käyttöilmanvaihdon suuruuden [1/h] vaikutus ominaislämmönkulutuksen [kWh/m²] arvoon. Pientalot, joissa oli koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä. [4, s. 87]

Ilmanvaihdon vaikutus lämmönkulutuksen arvoon näkyy alla, toivottavasti.



Kuva 32. Asunnon käyttöilmanvaihdon suuruuden [1/h] vaikutus ominaislämmönkulutuksen [kWh/m²] arvoon. Pientalot, joissa oli koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. [4, s. 89]

7 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ SADAN PIENTALON TUTKIMUKSESTA

Kolmen talvikuukauden mittaustulokset osoittivat odotettua suurempaa huonelämpötilan vaihtelua sekä ali- että yllämpötilojen osalta. Sisäilmastoluokan S3 tavoitelämpötilojen alueella oli vain 5 % kohteista, mutta yksikään mitattu huone ei pysynyt sisäilmastoluokan S2 tavoitelämpötilojen alueella. Yliämpenemisen takia vain 18 % kohteista oli sisäilmastoluokan S2 tavoitelämpötilan ylärajan (+22°C) alapuolella ja 36 % kohteista oli sisäilmastoluokan S3 tavoitelämpötilan ylärajan (+23°C) alapuolella. Suhteellinen kosteus oli odotetusti alhainen talvella, jolloin 18 % talvijaksojen ajasta sisäilman suhteellinen kosteus oli alle 20 %. [4, s. 91.]

Suurin vaikutus sisäolosuhteiden vuorokausivaihteluun oli ilmanvaihtojärjestelmällä. Pienimmät lämpötila- ja kosteusvaihtelut olivat koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän taloissa. Suoritettu lämpötilojen pitkäaikaisseuranta osoittaa, että Sisäilmastoluokituksen tavoitelämpötila-alueet ovat joiltakin osilta epärealistisia. Tutkimuksen tuloksia voidaankin hyödyntää asuinrakennusten tavoitelämpötila-alueiden ja niistä hyväksytyjen tilapäisten poikkeamien tarkentamiseksi. [4, s. 91.]

Energiankulutukseen ei näyttänyt olevan merkittävää vaikutusta sillä oliko rakennuksissa ilmanvaihdon yhteydessä lämmöntalteenotto vai ei. Myöskään rakennusvaipan ilmatiiviys ei korreloinut energiankulutuksen kanssa merkittävästi. Sen sijaan ilmanvaihdon lisääminen koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon kohteissa ja sisälämpötilan nosto vaikuttivat energiankulutukseen. Energiankulutuksen vaihteluväli oli suuri, vaikka suurin osa taloista oli muutaman vuoden ikäisiä ja samojen ohjeiden mukaan rakennettuja. **Saadut tulokset osoittavat, että asukkaiden elintavat vaikuttavat ratkaisevasti lämpöenergian kulutukseen.** [4, s. 92.]

Ilmanvaihto

Merkkiainemittauksista saatu painovoimaisten kohteiden keskimääräinen ilmanvaihtokerroin oli 0,3 1/h (mediaani 0,31 1/h). Kerta- ja merkkiainemittauksilla saatujen keskimääräisten ilmanvaihtokertoimien erot koneellisen poiston (0,36 1/h ja 0,34 1/h) ja koneellisen tulo-poiston (0,40 1/h ja 0,41 1/h) välillä olivat vähäiset.

Yksittäisten kohteiden välillä molemmissa ryhmissä oli suuriakin eroja. Kaikkien kohteiden ilmanvaihtokerrointen keskiarvo oli 0,38 1/h (mediaani 0,36 1/h) ja se jäi alle yleisen ohjearvon 0,5 1/h. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon tapauksessa keskimääräinen ilmanvaihtokerroin oli suurempi kuin koneellisen poistoilmanvaihdon.[4, s. 92]

Kahden hengen makuuhuoneiden tuloilmamäärät olivat riittämättömiä, keskimäärin vain 2,1 l/s/hlö (tavoitearvo sisäilmastoluokassa S3 6,0 l/s/hlö), mikä osoittaa mahdollisia puutteita järjestelmien tasapainotuksessa tai mitoituksessa. Käytännössä makuuhuoneen oven kautta tapahtuva ilman siirtyminen paransi makuuhuoneiden ilmanvaihtoa.

Ilmanvaihtojärjestelmän käyttöasennon valinta johti siihen, että makuuhuoneiden äänitason keskiarvo oli vain 22 dB(A). Ilmanvaihdosta oli asukkaiden palautteen

perusteella tingitty ilmanvaihtojärjestelmän tuottaman melun takia. Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän keskimääräinen äänitaso oli 21 dB(A) ja koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän 22 dB(A). Tulokset myös osoittavat, että jopa parhaan S1-luokan äänitason raja-arvo 25 dB(A) koetaan hiukan liian korkeaksi makuuhuoneissa. [4, s. 92]

Hyviä kohteita ilmanvaihdon ($\geq 0,5$ 1/h ilmanvaihdon käyttöasennossa) ja äänitasojen (makuuhuone < 22 dB(A)) osalta oli 14 % kaikista mitatuista koneellisen ilmanvaihdon kohteista. **Kummankin koneellisen järjestelmän ilmanvaihtokoneet oli mitoitettu siten, että 0,5 1/h vaihto saavutettiin ilmanvaihtokoneen 1 tai 2 asennolla. Väljästi mitoitettujen kanavien ja koneiden yhteisvaikutus tuotti tulokseksi toivotun äänenpainetason ja määräysten mukaisen ilmanvaihtokertoimen. Koneita voitiin käyttää pienillä asennoilla, jolloin äänenpainetaso ei nouse käyttöasennossa häiritseväksi.** [4, s. 94]

RakMK D2 (2003) asettamat ilmanvaihdon ja äänenpainetason kriteerit (IV-laitteistolla saavutettava ilmanvaihtokerroin $\geq 0,5$ 1/h ja äänenpainetaso ≤ 28 dB) toteutuivat 57 %:ssa koneellisen ilmanvaihdon kohteista. Ilmanvaihdon käyttöasennossa vastaavat kriteerit täyttäneitä taloja oli 23 %.[4, s. 94.]

Pientaloissa, joissa oli painovoimainen ilmanvaihto tai koneellinen poistoilmanvaihto, esiintyi enemmän valituksia kylmistä lattioista sekä ilma koettiin tunkkaisemmaksi. Alle 0,3 1/h ilmanvaihtokertoimen arvoilla hajuongelman esiintyvyys oli tilastollisesti katsoen merkitsevästi yleisempää, kuin jos ilmanvaihtokerroin oli suurempi kuin 0,3 1/h. Asunnoissa, joiden käyttöilmanvaihto oli vähintään 0,5 vaihtoa tunnissa esiintyi enemmän vetoa ja ilman kuivuutta kuin asunnoissa, joiden ilmanvaihtokerroin oli alle 0,5 1/h. Molemmilla sisäilmaongelmilla on luonnollinen kytkentä ilmanvaihdon suuruuteen. Asunnoissa, joissa käyttöilmanvaihto oli yli 0,6 1/h esiintyi lisäksi pölyisyyttä enemmän kuin muissa asunnoissa. **Yhteenvetona näistä tuloksista voidaan todeta, että ilmanvaihtokertoimen optimiarvo pientaloissa on 0,3 – 0,5 1/h keskimääräisellä asumistiheydellä. Näin ollen RakMK D2:ssa (2003) annetun ilmanvaihtokertoimen arvon 0,5 1/h saavuttaminen ei ole pientaloissa aina tarpeellista.**[4, s. 93.]

Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän ja koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän ilmavirrat ja ilmanvaihtokertoimet olivat hyvin lähellä toisiaan.

Koneellisella tulo- ja poistojärjestelmällä olivat pienemmät vuorokausiamplitudit lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja vesihöyrypitoisuuden suhteen.

Lämpöenergian kulutuksessa ei havaittu juurikaan eroa koneellisen poiston ja koneellisen tulo- ja poistojärjestelmien välillä. Koneellisissa poistoilmanvaihtojärjestelmissä korvausilma otettiin sisään joko seinässä olevien venttiilien tai ikkunoissa olevien venttiileiden kautta. **Lämmöntalteenotolla ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta kokonaisenergian kulutukseen.** Ihmisten elintavat ja käyttötottumukset vaikuttivat ratkaisevasti kokonaisenergian kulutukseen.[4,s.92] Huonelämpötilan nosto parilla asteella tuo huomattavia lisäkustannuksia.

8 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMIEN VERTAILULASKELMAT

Vertailulaskelmissa lasketaan kolmen eri ilmanvaihtojärjestelmän käyttö -oja asennuskustannukset samassa 100 m² lämmitettävää pinta-alaa omaavassa omakotitalossa. Kaikissa näissä tapauksissa käytetään samaa ilmanvaihtokerrointa 0,4 1/h koska näin vertailu antaa totuudenmukaisen eron energian kulutuksessa laskennallisesti. Ilmanvaihtokerroin 0,4 1/h tarkoittaa sitä, että asunnon ilmasta vaihtuu 40 % tunnissa, kahdessa tunnissa 80 % ja koko asunnon ilma on vaihtunut kahdessa ja puolessa tunnissa.

8.1 Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä

Painovoimainen ilmanvaihto on ikivanha menetelmä, joka perustuu ulko – ja sisäilman lämpötilaeroon ja tuulen vaikutukseen. Lämminnyt, käytetty ilma poistuu katolle johdettujen poistokanavien kautta, ja korvausilma otetaan huonekohtaisesti raitisilmaventtiilien avulla. Kuitenkin nykymääräystenkään ilmanvaihtuvuutta on painovoimaisella tekniikalla vaikea saavuttaa ympäri vuoden. Teoreettisesti noin 20 % vuodesta ilma vaihtuu vaaditusti kerran kahdessa tunnissa.

Painovoimainen systeemi toimii tehokkaasti talvella, kun lämpötilaero ulko- ja sisäilman välillä on suuri. Kesällä tarvitaan usein lisätuuletusta ikkunoiden kautta - mikä onkin tehokas tapa sisäilman vaihtamiseksi. Lisäksi painovoimaiselle ilmanvaihdolle on laskettava vuotoilmavirratt vaipasta, tiivisterakosista jne. , koska vajaaksi jäänyt korvausilma työntyy sisälle mistä sattuu pääsemään.

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa tuloilma lämpenee sisälämpötilaan huoneessa. Ilman lämmitykseen tarvittava teho saadaan huoneen lämmityslaitteista.

Painovoimaisen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia

Kohteena omakotitalo, jossa lämmitettävä pinta-ala on 100 m². Talossa on painovoimainen ilmanvaihto.

Painovoimaisen ilmanvaihdon energian tarve lasketaan käyttäen lämmityskauden keskimääräisenä kokonaisvaihtuvuutena arvoa 0,4 vaihtoa tunnissa laskettuna rakennuksen tilavuutta kohden.

Omakotitalo 100 m² lämmitettyä tilaa

Huonekorkeus 2550 mm

Tilavuus 255 m³

Ilmanvaihtokerroin 0,4 1/h

Ilmanvaihdon määrä 255 m³ x 0,4 1/h = 102 m³

$$\frac{102 \text{ m}^3}{3600 \text{ s}} = 0,0283 \text{ m}^3/\text{s} = 28,3 \text{ L/s}$$

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho. [5,s.4]

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho lasketaan kaavan avulla.

$$\dot{Q}_{iv} = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot \dot{V}_{iv} \cdot (T_s - T_u) - \dot{Q}_{ivlto}$$

jossa \dot{Q}_{iv} ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho, kW
 ρ_i ilman tiheys 1,2 kg/m³
 c_{pi} ilman ominaislämpö 1,0 KJ/kgK
 \dot{V}_{iv} ilmanvaihdon ilmavirta, m³/s
 \dot{Q}_{ivlto} poistoilmasta lämmöntalteenotto-laitteilla hyödynnettävä teho, kW

Lasketaan ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho kun lämmöntalteenottoa ei ole. (Otetaan huomioon pattereita mitoitettaessa.)

$$\dot{Q}_{iv} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,0 \text{ kJ/kgK} \times 0,0283 \text{ m}^3/\text{s} \times (21^\circ\text{C} - (-32^\circ\text{C})) = \mathbf{1,8 \text{ kW}}$$

Tehon tarve 1,8 kW

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia (ei lämmöntalteenottoa). [5,s.6]

Kaavat löytyy Suomen rakennusmääräyskokoelmasta D5.

$$Q_{iv} = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot \dot{V}_{iv} \cdot t \cdot 24 \cdot S \cdot r \cdot t_v - Q_{lto}$$

jossa	Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh
	ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
	c_{pi}	ilman ominaislämpö, 1,0 KJ/kgK
	\dot{V}_{iv}	ilmanvaihdon ilmavirta, m ³ /s
	t	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
	S	astepäiväluku, Kd
	t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
	Q_{lto}	lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettava ja hyödynnettävä energia, kWh
	r	kerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan (taulukko 3)
	24	kerroin, jolla muunnetaan astepäiväluku astetunneiksi

$$Q_{iv} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,0 \text{ kJ/kgK} \times 0,0283 \text{ m}^3/\text{s} \times 24/24 \times 24 \times 5523 \times 1 \times 7/7 \\ = 4501,47 \text{ kWh}$$

Energian hinta Kajaanissa on 0,065 €/kWh.

$$0,065 \times 4501,47 \text{ kWh} = 292,60 \text{ €}$$

Painovoimainen ilmanvaihto kuluttaa energiaa vuodessa 292,60 € edestä.

Luonnollisesti kustannukset pienenevät jos lämmityksessä käytetään muuta halvempaa energiaa kuin sähköä, esimerkiksi öljyä, pellettiä tai vaikkapa koivuhalkoja. Mutta tässä laskelmassa käytetään samoja arvoja jotta tulos olisi vertailukelpoinen.

Asennuskustannuksia tässä vaihtoehdossa ei ole koska oletetaan että kyse on jo valmiista, perusparannuksen tarpeessa olevasta omakotitalosta.

Vuotoilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaa tehoa ja energiaa ei tässä vertailussa oteta huomioon suoranaisesti koska se on laskennallisesti sama joka vaihtoehdossa.

Vuotoilmanvaihto tarkoittaa sitä, että ilmaa virtaa sisälle nurkkaraoista, ikkunat vetävät, ulko-ovien pielistä virtaa sisälle kylmää ilmaa, sähkörasioista tulee pakkasella kylmää ilmaa. **Käytännössä vuotoilmaa tulee kaikissa ilmanvaihtojärjestelmissä jos talon ulkovaippa ei ole tiivis**, vähiten kuitenkin koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdoissa, koska siinä tuloilmaa tuodaan koneellisella puhalluksella hallitusti laskettu määrä. Näin vuotoilman osuus jää väkisin pienemmäksi kuin muissa vaihtoehdoissa.

Vuotoilmasta aiheutuu luonnollisesti lisää lämmityskustannuksia. **Vuotoilman lämmittäminen maksaa tässä esimerkissä käytetyssä talossa 146,47 € vuodessa.** Laskenta kaava löytyy Suomen rakennusmääräyskokoelmasta D5 sivulta 7.

Kustannuksiin lasketaan kuuden 1,42 m² suuruisen ikkunan kuluttama lämpöenergia. Testiolosuhteissa tehdyssä energianmittauksessa 1,42 m² kokoisen normaalin MSEX-ikkunan, U-arvo 1,74 W/Km², energian kulutus oli vuodessa 300kWh. Sähkön hinta Kajaanissa 0,065 €.

$$0,065 \text{ €} \times 300 \text{ kWh} \times 5 = \mathbf{97,5 \text{ €}}$$

Kustannuksiin lasketaan kuuden 1,42 m² suuruisen ikkunan kuluttama lämpöenergia. Testiolosuhteissa tehdyssä energianmittauksessa 1,42 m² kokoisen normaalin MSEX-ikkunan, U-arvo 1,74 W/Km², energian kulutus oli vuodessa 300 kWh. Sähkön hinta Kajaanissa 0,065 €.

$$0,065 \text{ €} \times 300 \text{ kWh} \times 5 = \mathbf{97,5 \text{ €}}$$

Painovoimaisen ilmanvaihdon energiakustannukset ovat vuodessa 390,10 €

8.2 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Tulo- ja poistojärjestelmässä suodatettua ja lämmityskaudella lämmitettyä tuloilmaa tuodaan kaikkiin makuuhuoneisiin, olohuoneeseen, takahuoneeseen ja saunaan, sekä takan yläpuolelle tehostamaan takan ilmansiirtoa. Näistä tiloista ilma kulkeutuu tiloihin, joista se kosteana tai likaantuneena poistetaan ulos.

Kostea ilma poistetaan saunasta, pesuhuoneesta, WC-tiloista ja kodinhoitohuoneesta. Lisäksi poistventtiilejä on vaatehuoneissa ja keittiössä sekä asuintilaan liittyvissä varastoissa. Keittiön kärynpoisto toteutetaan joko erillisellä liesituulettimella tai sitten vaihtoehtoisesti huippuimuri-liesikupuyhdistelmällä.

Jäteilma poistetaan koneesta kattoläpiviennin kautta ulos, ja uutta raikasta ilmaa otetaan talon ”viileämmältä” puolelta joko seinään tai räystäään alle sijoitetun raitisilmasäleikön kautta. Lämmityskaudella lämmöntalteenotto käyttää poistuvan ilman lämpöä sisään otettavan ilman lämmittämiseen. Kesäkäytössä lämmöntalteenotto ohitetaan.

Käyttö- ja asennuskustannukset

Kohteena omakotitalo, jossa lämmitettävä pinta-ala on 100 m². Talossa on ollut painovoimainen ilmanvaihto, joka korvataan nyt lämmöntalteenottolaitteella varustetulla koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla. Talossa on viisi 1.42 m² kokoista MSEX -ikkunaa, U-arvo 1,74 W/Km².

Ensin lasketaan ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho ja sen jälkeen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia ja paljonko se maksaa vuositasolla.

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho

Omakotitalo, 100 m² lämmitettyä tilaa

Huonekorkeus 2550 mm

Tilavuus 255 m³

Ilmanvaihtokerroin 0,4 1/h

Ilmanvaihdon määrä 255m³ x 0,4 1/h = 102 m³

$$\frac{102m^3}{3600s} = 0,0283 \text{ m}^3/s = 28,3 \text{ L/s}$$

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho lasketaan kaavan avulla. [5,s.4]

Kaavat löytyvät Suomen rakennusmääräyskokoelmasta D5.

$$\dot{Q}_{iv} = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot V_{iv} \cdot (T_s - T_u) - \dot{Q}_{ivto}$$

jossa	\dot{Q}_{iv}	ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho, kW
	ρ_i	ilman tiheys 1,2 kg/m ³
	c_{pi}	ilman ominaislämpö 1,0 KJ/kgK
	V_{iv}	ilmanvaihdon ilmavirta, m ³ /s
	\dot{Q}_{ivto}	poistoilmasta lämmöntalteenotto-laitteilla hyödynnettävä teho, kW

Ensin lasketaan ilmanvaihdon lämmityksen teho kun lämmöntalteenottoa ei ole.

$$Q_{IV} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,0 \text{ kJ/kgK} \times 0,0283 \text{ m}^3/\text{s} \times (21^\circ\text{C} - (-32^\circ\text{C})) = 1,8 \text{ kW}$$

Seuraavaksi lasketaan teho kun lämmöntalteenotto on.

Lämmöntalteenoton hyötysuhde on 65 %. Lämmityskuukausia Kajaanissa 7 jolloin todellinen hyötysuhde on 40 %.

$$0,4 \times 1,8 \text{ kW} = \mathbf{0,72 \text{ kWh}}$$

$$Q_{IV} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,0 \text{ kJ/kgK} \times 0,0283 \text{ m}^3/\text{s} \times (21^\circ\text{C} - (-32^\circ\text{C})) - 0,72 \text{ kW} = \mathbf{1,07 \text{ kW}}$$

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho lämmöntalteenottolaitteella varustetussa 100m² lämmitettävää tilaa omaavan omakotitalossa on 1,07 kW.

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia

Ensin lasketaan ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia kun lämmöntalteenottoa ei ole. [5,s.6]

Kaavat löytyvät Suomen rakennusmääräyskokoelmasta D5.

$$Q_{IV} = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot \dot{V}_{IV} \cdot t \cdot 24 \text{ S} \cdot r \cdot t_v - Q_{lto}$$

jossa	Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh
	ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
	c_{pi}	ilman ominaislämpö, 1,0 KJ/kgK
	\dot{V}_{iv}	ilmanvaihdon ilmavirta, m ³ /s
	t	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
	S	astepäiväluku, Kd
	t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
	Q_{lto}	lämmöntalteenottolaitteistolla talteen otettava ja hyödynnettävä energia, kWh
	r	kerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan (taulukko 3)
	24	kerroin, jolla muunnetaan astepäiväluku astetunneiksi

$$Q_{iv} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,0 \text{ kJ/kgK} \times 0,0283 \text{ m}^3/\text{s} \times 24/24 \times 24 \times 5523 \times 1 \times 7/7$$

$$= \mathbf{4501,47 \text{ kWh}}$$

Seuraavaksi lasketaan ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia kun lämmöntalteenotto on. Lämmöntalteenoton todellinen hyötysuhde vuositasolla on 40 %.

$$0,4 \times 4501,47 \text{ kWh} = \mathbf{1800,59 \text{ kWh}}$$

Lämmöntalteenotolla hyödynnettävä energia on vuodessa **1800,59 kWh = 117 €**

Sijoitetaan 1800,59 kWh kaavaan:

$$Q_{iv} = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot \dot{V}_{iv} \cdot t \cdot 24 \cdot S \cdot r \cdot t_v - Q_{lto}$$

$$Q_{iv} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,0 \text{ kJ/kgK} \times 0,0283 \text{ m}^3/\text{s} \times 24/24 \times 24 \times 5523 \times 1 \times 7/7 - 1800,59 \text{ kWh}$$

$$= \mathbf{2700,88 \text{ kWh}}$$

Saman tuloksen saa kun vähentää suoraan kokonaisenergian tarpeesta 4501,47 kWh lämmöntalteenoton vaikutuksen 1800,59 kWh.

$$4501,47 \text{ kWh} - 1800,59 \text{ kWh} = 2700,88 \text{ kWh}$$

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia lämmöntalteenottolaitteella varustetussa 100 m² lämmitettävää tilaa omaavan omakotitalossa on **2700,88 kWh**.

Sähkön hinta Kajaanissa 0,065 €/kWh.

$$0,065 \text{ €} \times 2700,88 \text{ kWh} = \mathbf{175,56 \text{ €}}$$

Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia lämmöntalteenottolaitteella varustetussa 100 m² lämmitettävää tilaa omaavassa omakotitalossa maksaa Kajaanissa 175,56 € vuodessa.

Kustannuksiin lasketaan viiden 1,42 m² suuruisen ikkunan kuluttama lämpöenergia. Testiolosuhteissa tehdyssä energianmittauksessa 1,42 m² kokoisen normaalin

MSEX-ikkunan, U-arvo 1,74 W/Km², energian kulutus oli vuodessa 300kWh.

Sähkön hinta Kajaanissa 0,065 €.

$$0,065 \text{ €} \times 300 \text{ kWh} \times 5 = 97,5 \text{ €}$$

Tulo ja poistopuhaltimen kuluttama sähkö vuodessa. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä enintään 2,5 kW/(m³/s).

$$0,028 \text{ L/s} \times 2,5 \text{ Kw} = 0,07 \text{ KW ja } 0,07 \text{ kW} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ vrk} = 613,2 \text{ kWh/vuodessa}$$

$$613,2 \text{ kWh} \times 0,065 \text{ €} = 39,86 \text{ € vuodessa}$$

Kokonaisenergian kulutus on 312,92 € vuodessa.

Hankinta- ja asennuskustannukset

Seuraavassa on koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon kuuluvat tarvikkeet.

Ilmanvaihtokone +LTO+esilämmityspatteri

Kanavat

Hiilidioksidianturi

Kosteusanturi
 Suodatinvahti
 Etulämmityksen ohjain

Eristetty yläpohjan läpivientilevy
 Kattoasennuslevy
 Jakolaatikko, poistopuoli
 Jakolaatikko, tulopuoli
 Asennuskustannukset

Alin tarjoushinta yhteensä 6500 € Sisältää kaikki yllä luetellut tarvikkeet ja asennuksen avaimet käteen periaatteella.

8.3 Airtech-tuloilmajärjestelmän käyttö- ja asennuskustannukset

Kohteena omakotitalo, jossa lämmitettävä pinta-ala on 100 m². Talossa on ollut painovoimainen ilmanvaihto, joka korvataan nyt Airtech-ilmanvaihtojärjestelmällä. Ensin lasketaan ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho ja sen jälkeen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia ja paljonko se maksaa vuositasolla.

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho

Omakotitalo 100 m² lämmitettyä tilaa
 Huonekorkeus 2550 mm
 Tilavuus 255 m³
 Ilmanvaihtokerroin 0,4 1/h
 Ilmanvaihdon määrä 255 m³ x 0,4 1/h = 102 m³

$$\frac{102m^3}{3600s} = 0,0283 \text{ m}^3/s = 28,3 \text{ L/s}$$

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho lasketaan kaavan avulla.
 Kaavat löytyvät Suomen rakennusmääräyskokoelmasta D5. [5,s.4]

$$\dot{Q}_{iv} = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot \dot{V}_{iv} \cdot (T_s - T_u) - \dot{Q}_{ivlto}$$

jossa	\dot{Q}_{iv}	ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema teho, kW
	ρ_i	ilman tiheys 1,2 kg/m ³
	c_{pi}	ilman ominaislämpö 1,0 KJ/kgK
	\dot{V}_{iv}	ilmanvaihdon ilmavirta, m ³ /s
	\dot{Q}_{ivlto}	poistoilmasta lämmöntalteenotto-laitteilla hyödynnettävä teho, kW

Lasketaan ilmanvaihdon lämmityksen teho **kun lämmöntalteenottoa ei ole.**

$$Q_{iv} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,0 \text{ kJ/kgK} \times 0,0283 \text{ m}^3/\text{s} \times (21^\circ\text{C} - (-32^\circ\text{C})) = 1,8 \text{ kW}$$

Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia. [5,s.6]

Kaavat löytyy Suomen rakennusmääräyskokoelmasta D5.

$$Q_{iv} = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot \dot{V}_{iv} \cdot t \cdot 24 \text{ S} \cdot r \cdot t_v - Q_{lto}$$

jossa	Q_{iv}	ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia, kWh
	ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
	c_{pi}	ilman ominaislämpö, 1,0 KJ/kgK
	\dot{V}_{iv}	ilmanvaihdon ilmavirta, m ³ /s
	t	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
	S	astepäiväluku, Kd
	t_v	ilmanvaihtolaitoksen viikottainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
	Q_{lto}	lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettava ja hyödynnettävä energia, kWh
	r	kerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan (taulukko 3)
	24	kerroin, jolla muunnetaan astepäiväluku astetunneiksi

$$Q_{iv} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,0 \text{ kJ/kgK} \times 0,0283 \text{ m}^3/\text{s} \times 24/24 \times 24 \times 5523 \times 1 \times 7/7$$

$$= 4501,47 \text{ kWh}$$

Sähkön hinta Kajaanissa 0,065 €/kWh.

$$0,065 \text{ €} \times 4501,47 \text{ kWh} = 292,60 \text{ €}$$

Poistopuhaltimen kuluttama energia vuodessa:

Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla yleensä enintään 1,0 kW/(m³/s).

$$0,028 \text{ L/s} \times 1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}) = 245,28 \text{ kWh} \text{ ja } 245,28 \text{ kWh} \times 0,065 = \mathbf{15,94 \text{ €}}$$

Kustannuksiin lasketaan kuuden 1,42 m² suuruisen ikkunan kuluttama lämpöenergia. Testiolosuhteissa tehdyssä energianmittauksessa 1,42 m² kokoisen normaalin MSEX-ikkunan, U-arvo 1,74 W/Km², energian kulutus oli vuodessa 300 kWh. Sähkön hinta Kajaanissa 0,065 €.

$$0,065 \text{ €} \times 300 \text{ kWh} = \mathbf{97,5 \text{ €}}$$

Airtech-tuloilmajärjestelmän energiakustannukset ovat vuodessa 406,04 €

Laskettaessa valmistajan antamien tuoteselosteessa olevien tietojen pohjalta, jossa 1,42 m² tuloilmaikkunan vuotuinen energian kulutus on 930 kWh ilmanvaihtoluvun ollessa 0,33 1/h, saadaan 930 kWh x 5 kpl = 4650 kWh. Koska esimerkissä on kaikki järjestelmät laskettu 0,4 1/h ilmanvaihtoluvulla, on tähän lisättävä ilmanvaihtolukujen erotus 795,31 kWh, jolloin saadaan kulutukseksi **5296,78 kWh. Rahasummana tämä on 344,29 €**

Airtech-tuloilmajärjestelmän asennuskustannukset

Ikkunat varusteineen paikalleen asennettuna 5 kpl 3600 €

Ilmanvaihtojärjestelmä poistokoneineen valmiiksi asennettuna avaimet käteen periaatteella 3000 €. Summat saatu tarjouksen perusteella.

Yhteensä 6600 €

8.4 Ilmanvaihtojärjestelmien vertailu

Painovoimainen ilmanvaihto on energian kulutukseltaan 4501,47 kWh.

Kustannuksiin lasketaan viiden 1,42 m² suuruisen ikkunan (U-arvo 1,74 W/Km²)

kuluttama lämpöenergia **1500 kWh. Energia kustannukset vuodessa 390,10 €**

Koneellisen lämmöntalteenottolaitteella varustetun tulo- ja poistoilmanvaihdon energian kulutus on **2700,88 kWh**. Kustannuksiin lasketaan viiden 1,42 m² suuruisen ikkunan kuluttama lämpöenergia 1500 kWh. **Energia kustannukset** vuodessa **273.06 €** + puhaltimien sähkönkulutus 39.86 € = **312.92 €**

Laite- ja asennuskustannukset **6500 €**

Yhteensä **6812,92 €**

Airtech-tuloilmajärjestelmä

Airtech-tuloilmajärjestelmän kuluttama energia **4501,47 kWh** vuodessa = **292,60 €**

Ikkunoiden kuluttama energia 300 kWh x 5 kpl = 1500 kWh = **97,5 € (*)**

Poistopuhaltimen kuluttama energia **15,94 €**

Energiakustannukset vuodessa **406,04 €**

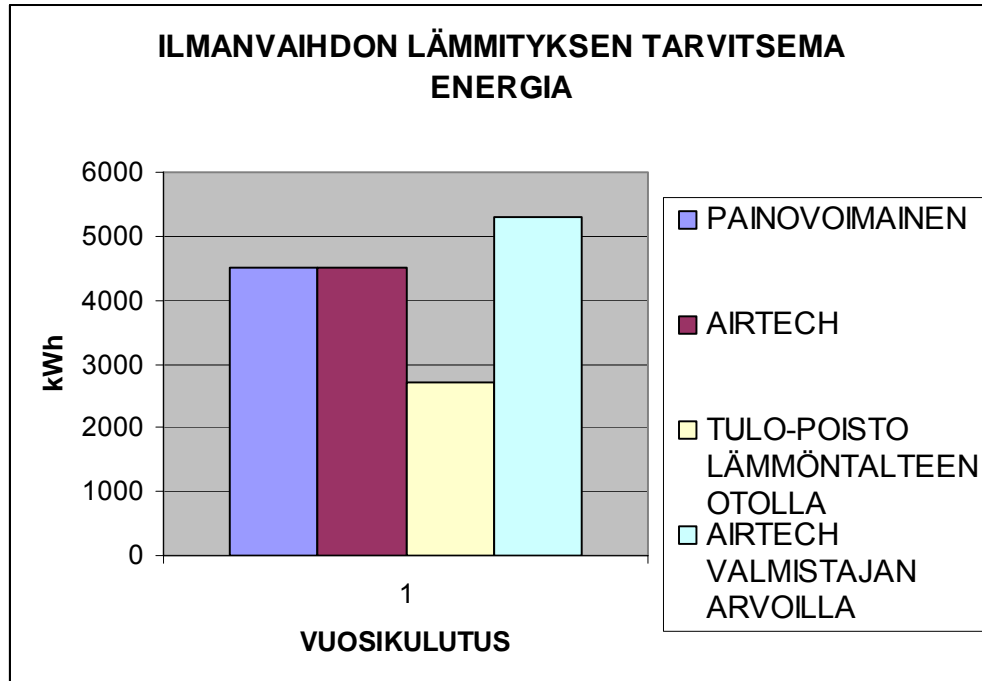
Laite- ja asennuskustannukset **6600 €**

Yhteensä **7006,04 €**

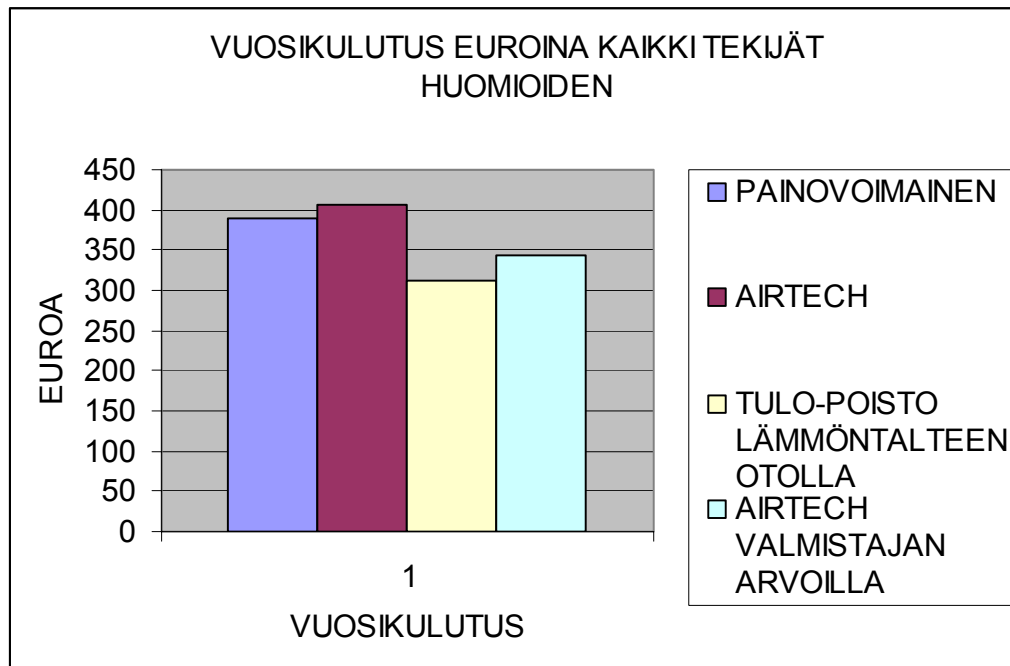
Valmistajan tuoteselosteen mukaisesti laskettuna yhteensä **6960,23 €** [3.]

(*) Koska ilmanvaihdon kuluttama energia on laskettu samalla kaavalla jossa on otettu huomioon ilmanvaihdon kuluttama energia, otetaan myös Airtech-ikkunalle sama arvo kuin muillekin huomioiduille ikkunoille.

Seuraavassa ovat luvut kaavion muodossa esitettyinä.

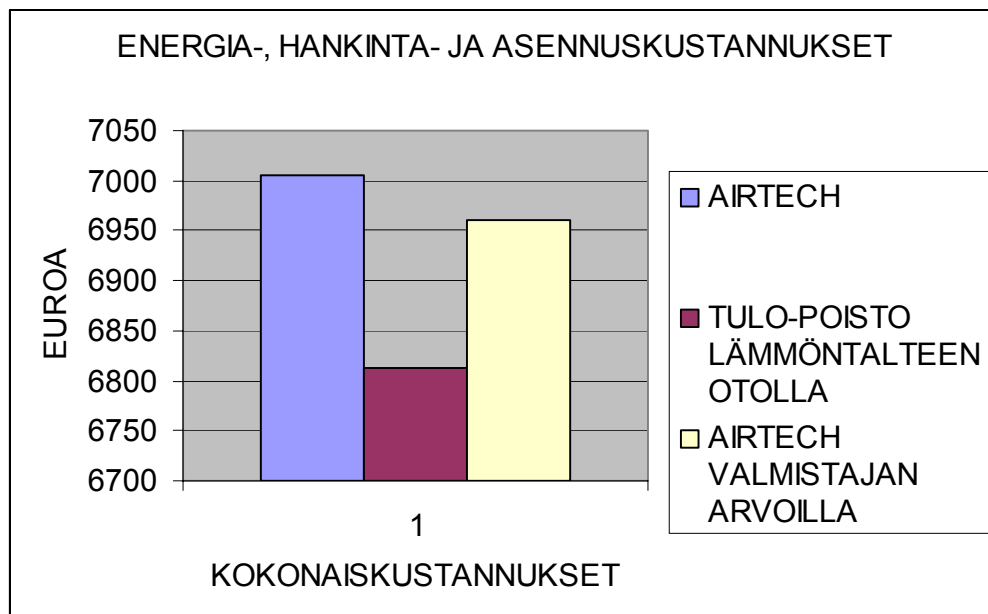


Kuva 33. Vertailu eri ilmanvaihtojärjestelmien välillä vuosikulutuksen suhteen.



Kuva 34. Vuosikulutus rahassa mitattuna.

Kokonaiskustannukset ensimmäisenä vuonna alla olevassa kuvassa.



Kuva 35. Eri ilmanvaihtojärjestelmien kokonaiskustannukset.

Laite- ja asennuskustannuksiltaan Airtech-tuloilmajärjestelmä on tässä esimerkissä 100 € kalliimpi kuin koneellinen tulo-poistoilmanvaihto. Käytännössä hinta voi olla puoleen tai toiseen riippuen tarjouksen tekijästä. Käyttökustannuksiltaan ero on 93,12 € ja valmistajan ilmoittamilla luvuilla laskettaessa ero on 31,37 €, koneellisen tulo-poistojärjestelmän hyväksi. Tässä kyseisessä esimerkissä ei Airtech-tuloilmaikkunan väitettyä lämmöntalteenottovaikutusta ole laskettu suoranaisesti, koska sille ei löydy olemassa olevaa laskentamenetelmää.

Vertaamalla testiolosuhteissa tehtyihin mittauksiin voidaan kuitenkin todeta että laskelmat ovat lähes samanlaisia arvoja antavat. Tässä on otettu huomioon muissa järjestelmissä ikkunoiden vaatima energian kulutus 300 kWh U-arvolla 1,74 W/Km² myös Airtech-järjestelmässä. Käytettäessä paremmalla U-arvolla varustettua ikkunaa hyöty paranee mutta erot pysyvät suhteessa samana. Kyse on tässä tapauksessa muutaman kymmenen euron summasta.

Laskelmien perusteella näyttää siltä, että tässä esimerkkitapauksessa on makukysymys, kumman valitsee, kun tuijotetaan pelkästään kustannuksia.

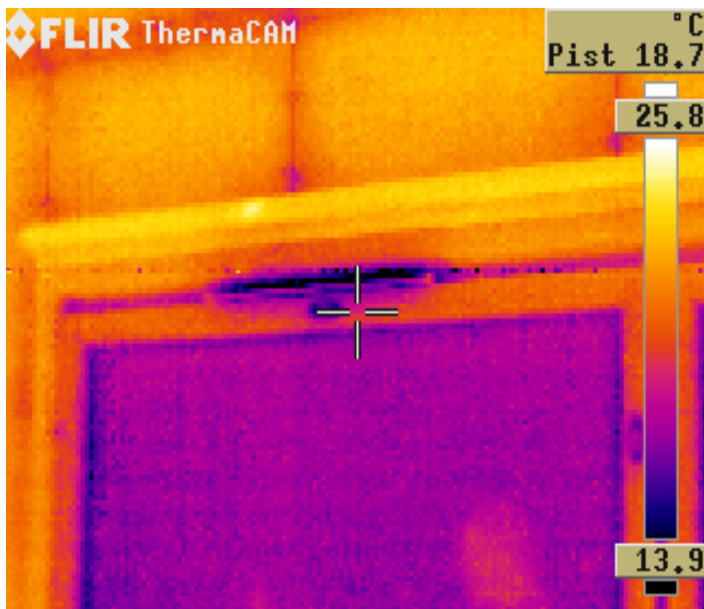
Asia on kokonaan toinen, jos tähän esimerkkitaloon vaihdetaan koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon lisäksi vanhojen tilalle uudet alumiiniprofiloidut ikkunat. Silloin kustannuksia tulee lisää noin 2600 € asennuksineen.

Suomen rakentamismääräyskokoelma määrää uusien talojen ilmanvaihtokertoimeksi 0,6 1/h. Tämä arvo saavutetaan käytännössä vain koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla, jossa tuloilman määrää voidaan kontrolloidusti säätää. Samoin on vanhoissa taloissa. Vaikka vanhoilta taloilta ei edellytetä 0,6 1/h ilmanvaihtokerrointa, edellyttää jo 0,4–0,5 1/h ilmanvaihtokertoimen saavuttaminen useimmissa tapauksissa koneellista tulo-poistoa. Näin myös tuloilma on kontrolloidusti hallinnassa ja takaa riittävän sisäilman vaihtuvuuden olosuhteista huolimatta.

9 KENTTÄTUTKIMUKSET

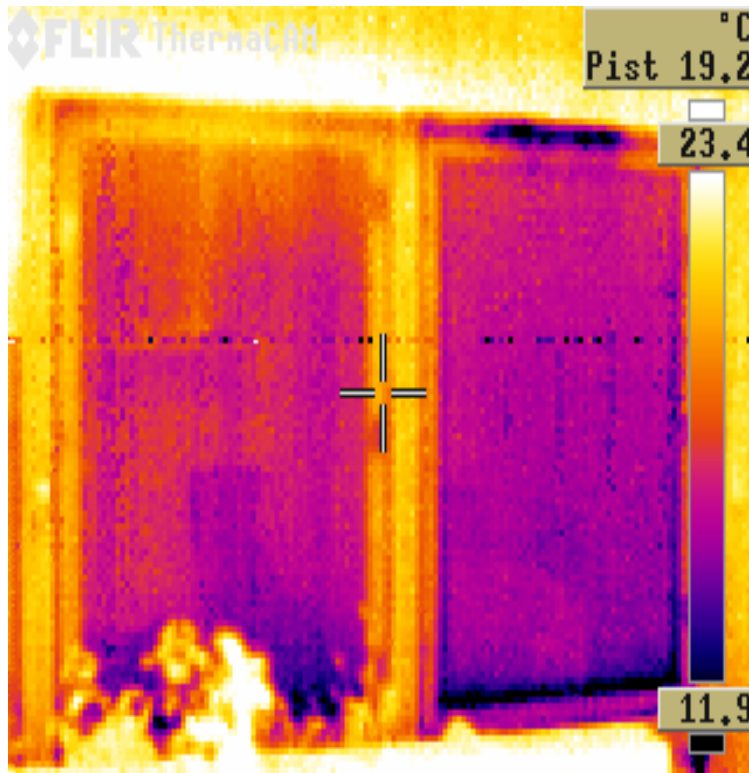
Kenttätutkimuksen kohteena oli 70-luvulla rakennettu omakotitalo, johon asennettiin Airtech-tuloilmaikkunat ja poistoilmanvaihto. Kohteessa mitattiin ikkunoiden pintalämpötiloja pintalämpötilamittarilla sekä otettiin ikkunarakenteista lämpökamerakuvia. Ulkolämpötila oli $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sisälämpötila $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tuloilmaikkunan pintalämpötilaksi mitattiin keskellä ikkunaa $+14,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Talossa on tuloilmaikkunan vieressä normaali kolmilasinen MSK-ikkuna ja sen pintalämpötilaksi mitattiin $+14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kohteessa otettiin lämpökamerakuvia lämpökameralla Thermcam PM515 PAL, jota voi vuokrata vaikkapa Kajaanin rakennuskonevuokraamosta.

Seuraavassa on koekohteessa otettuja lämpökamerakuvia syksyllä 2005 asennetuista tuloilmaikkunoista. Kuvat on otettu helmikuussa 2006.



Kuva 36. Lämpökamerakuva tuloilmaikkunasta. Kohdistuspisteen lämpötila ikkunan puitteessa 18,7 °C. Kohdistuspisteen yläpuolella mustana näkyvä kohta on tuloilmaikkunan ilmanjakosuulake. Sen lämpötila on noin 11 C°.

Seuraavassa kuvassa 37 on rinnakkain normaali kolmilasinen ikkuna ja oikealla tuloilmaikkuna.



Kuva 37. Vasemmalla on normaali- ikkuna ja oikealla tuloilmaikkuna

Vasemmalla olevan normaali-ikkunan puitteessa olevan kohdistuspisteen lämpötila on kuvassa 19,2 C°.

Normaali ikkunan sisälasin lämpötila on johtumisen vaikutuksesta kohonnut ikkunan yläosaan mentäessä 18 C°:seen alaosan lämpötilasta 11,9 C°.

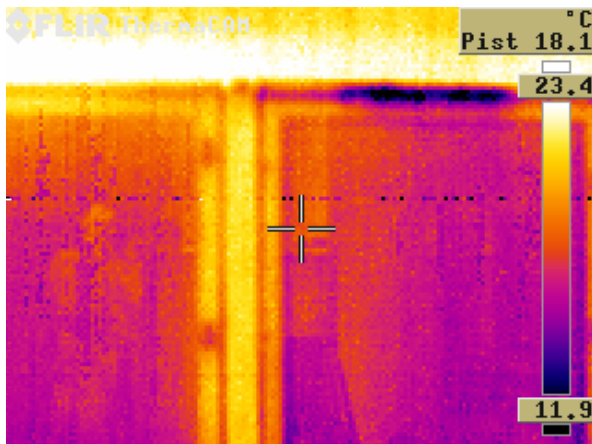
Oikealla olevan tuloilmaikkunan alaosassa, josta ulkoilma otetaan ikkunan välitilaan, on sisälasin lämpötila alle 11,9 C°.

Ulkoa ikkunan välitilaan virtaava ilma jäädyttää myös -23 C° pakkasessa alhaalla olevan ikkunan puitteen lämpötilaan 14 C° . Myös tuloilmaikkunassa ikkunan välitilassa virtaava kylmä ilma lämpenee johtumisen vaikutuksesta ja niinpä sisälasin sisäpinnan lämpötila on ikkunan laidoilla yläosassa 18 C° .

Tuloilmaikkunan yläosan keskellä ilma virtaa kohti ilmanjakosuulaketta ja sisälasin lämpötila on siinä kohdassa alempi, $14,6\text{ C}^{\circ}$. Ilmanjakosuulakkeen lämpötila on 11 C° . Ilmanjakosuulake ohjaa tuloilman ylöspäin, joten tuloilmavirran leviämisen estää sen kanssa samassa tasossa oleva verholauta.

Toinen asia on se että ilmanjakosuulakkeen lämpötila on $+11\text{ C}^{\circ}$, vaikka ikkunan välitilasta virtaa sen läpi -12 C° :ta ilmaa huonetilaan. Se osoittaa että ilmanjakosuulakkeen kautta ei tule juuri minkäänlaista ilmavirtausta. Koska poistoilmakone oli asennettu ja poistoilmavirrat mitattu 3 kuukautta aikaisemmin, täytyy korvausilman tulla muuta kautta kuin tuloilmaikkunan kautta.

Kuvassa 38 sama ilmiö näkyy selvemmin.



Kuva 38. Sama tapahtuma kuin kuvassa 37. Tuloilmaikkunan sisälasin pintalämpötila 18 C° , mikä osoittaa myös selvästi, että ilmavirtausta ei tapahdu.

Tuloilmaikkunoiden pintalämpötilat mitattiin keskeltä ikkunaa pintalämpötilamittarilla ja lukemaksi saatiin tasaisesti 14,6 °C ulkolämpötilan ollessa -23 °C ja sisälämpötila +24 °C. Normaali ikkunoiden lämpötila oli 14.5 °C. Pieni sisälasien lämpötilaero kuvaa sitä, että tuloilmaikkunan sisälasi johtaa tehokkaasti lämpöä.

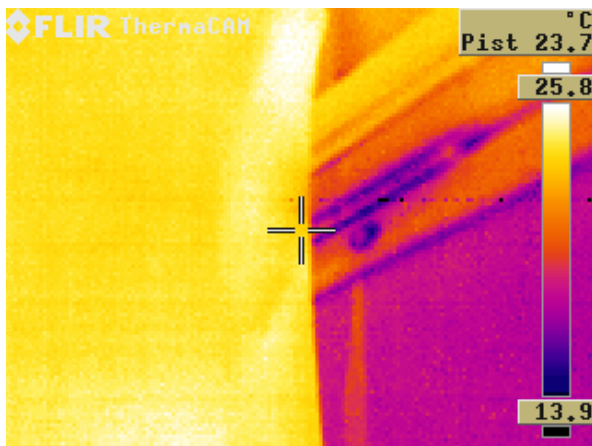
Ikkunoiden asennustyöt olivat huolella tehtyjä ja ikkunan karmien ja seinän liitoksissa ei esiintynyt vuotokohtia.

Tässä kyseisessä kohteessa tuloilmaikkunoiden venttiilien kautta tulevat tuloilmamäärät tuntuivat pieniltä, katsoipa asiaa miltä kantilta tahansa. Poistopuoli toimi varsin tehokkaasti, joten nousee esiin heti ajatus, että korvausilma otetaan jotain muuta kautta eli ilmavuotoina talon vaipparakenteesta. **Talossa ei pääse syntymään riittävää alipainetta, jotta korvausilmaventtiilit avautuisivat.** Ikkunan valmistaja ei luonnollisesti voi sille asialle sinänsä mitään.

Lämpökamerakuvaus perustuu siihen, että lämpö siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen vaikutuksesta (säteilyn)välityksellä kappaleesta toiseen. Säteily jakaantuu eri aallonpituuksille. Kaikki kappaleet, jotka ylittävät absoluuttisen nollapisteen (-273 °C), lähettävät säteilyä. Lämpökuvauksessa ei mitata suoraan pinnan lämpötilaa, vaan kohteesta tulevaa säteilyä ja lämpösäteilyn suhteellista voimakkuutta, joka riippuu pintalämpötilasta. Kameran mittaama säteily koostuu kohteen lähettämästä säteilystä eli pinnan lämpötilasta ja materiaalin emissiokertoimesta. Rakennustekniikassa emissiokerroin oletetaan aallonpituudesta riippumattomaksi. Lisäksi kameran mittaama säteily koostuu kohteen heijastamasta säteilystä eli ympäristön lämpötilasta ja materiaalin heijastuskertoimesta ja vielä kohteen läpi päässeestä säteilystä eli kohteen toisen puolen lämpötilasta ja materiaalin lämpötilasta sekä ilmakerroksesta.

Siinä ovat perustelut kuvan 39 kohdalla käytettyyn kuvausmenettelyyn ja kuvan selostukseen.

Tuloilmavirtaa mitataan lämpötilaerojen avulla.



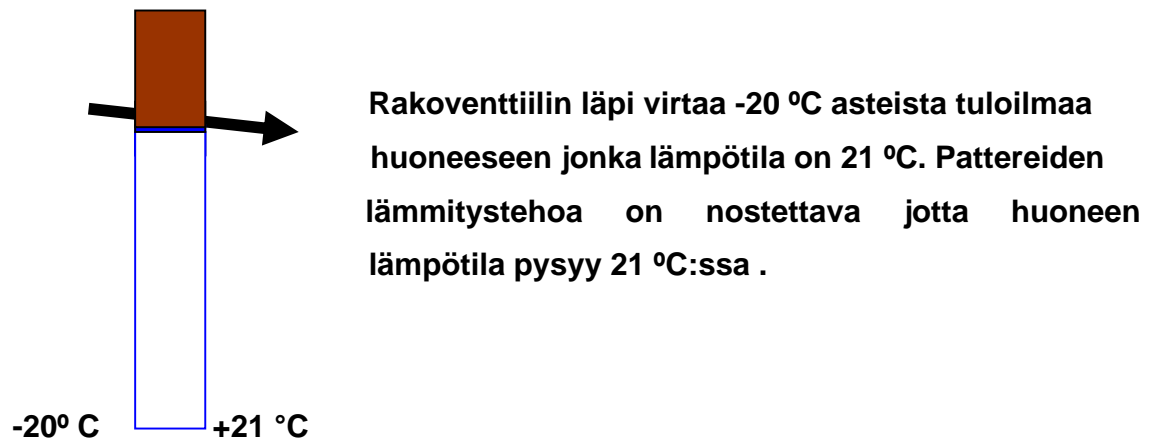
Kuva 39. Tuloilmavirran lämpökamerakuvaus

Kuvassa on asetettu tuloilmaikkunan ohjaussuulakkeen keskelle metrin levyinen paperin kaistale ohut laitasärmä kiinni ohjaussuulakkeessa ja seinässä. Paperikaistale ulottuu kattoon. Ulkona on $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja sisällä $+24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tuloilmavirta kulkee paperin molemmin puolin noin $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteen lämpöisenä. Näin ollen paperin pintalämpötilan pitäisi viilentyä huomattavasti kylmässä ilmavirrassa jo pelkän maalaisjärjen turvin ajateltuna. Näin ollen lämpökuvauksessa paperin lähettämä lämpösäteily näkyisi kuvassa ja kuvastaisi tuloilmavirran lämpötilaa ja lämpenemistä sekä leviämistä huonetilaan asteikon värisävyillä. **Mutta kun ei ole tuloilmavirtaa**, ei paperikaan viilene, mikä näkyy selvästi kuvassa. Paperi on huoneen lämpötilassa.

Tässä pätee sama toteamus kuin kuvassa 39, eli korvausilman täytyy tulla muuta kautta kuin tuloilmaikkunan venttiileistä. Talossa ei pääse syntymään riittävää alipainetta, jotta korvausilmaventtiilit avautuisivat.

10 POHDINTA

Pohdinnan alussa palataan käsitteeseen niin sanottu tehollinen U-arvo, joka on tuloilmaikkunan valmistajan asiatietoihin pohjautuen ilmoitettu olevan $0,8 \dots 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ lämmöntalteenottovaikutuksen vaikutuksesta. Tämä on kirjoitettu myös LVI/KH 411–20549 korttiin. Tämä tehollisen U-arvon käsite on tässä yhteydessä hieman hämärä. Siitä ei saa otetta, mitä sillä tarkoitetaan. On aivan selvä, että kun ikkunan välitilan kautta virtaa pakkasella kylmää ilmaa huonetiloihin, ei ikkunan todellinen U-arvo voi olla $0,8 \dots 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tämä kävi mielessä jo luvussa U-arvolaskelmat. Tässä herää kysymys, mikä on lämmöntalteenottovaikutus. Otetaan ensin rakoventtiilillä varustettu ikkuna, jossa tuloilma tulee ikkunan yläpuolella olevasta venttiilistä



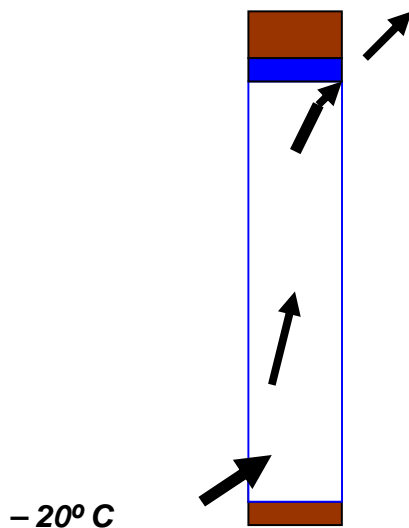
Kuva 40. Tapaus rakoventtiili

Seuraavaksi tarkastellaan tuloilmaikkunaa.

**Ulkoilman
lämpötila
– 20 °C**

Sisälämpötila +21 °C

– 8 °C asteista tuloilmaa virtaa huoneeseen



Kuva 41. Ilman lämpeneminen tuloilmaikkunassa

Koska tuloilma lämpenee ikkunan välissä johtumisen takia 12 °C ennen kuin se tulee sisälle -8 °C lämpötilassa, täytyy tuloilman ottaa kylmän ilman lämmittämiseen ikkunan välitilassa tarvittava energia sisältä johtumalla.

Eli tämä **johtumalla kulkeva energia on korvattava sisätiloissa pattereiden lämmitystehoa** nostamalla, **jotta sisälämpötila pysyy 21 °C asteisena.**

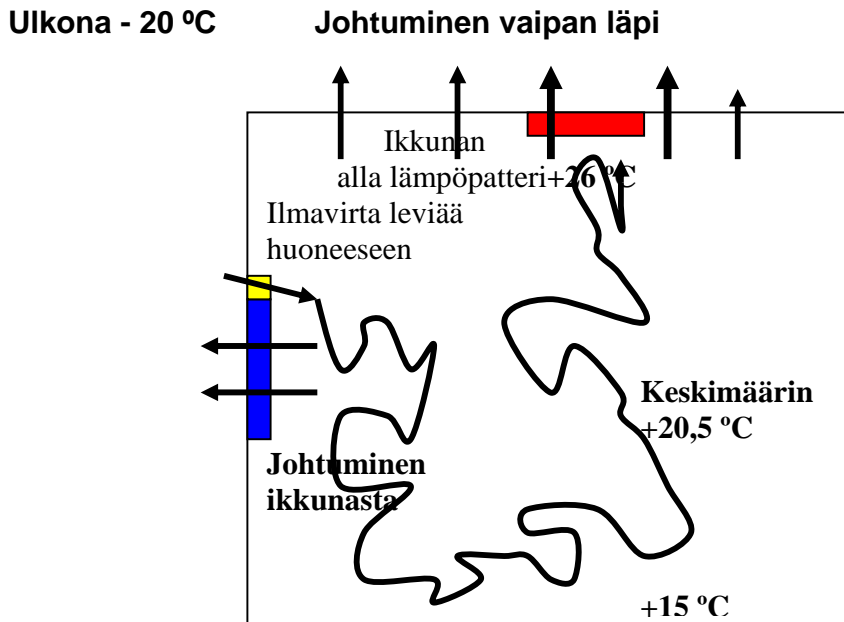
Samoin tuloilmaikkunan **yläosasta ohjaussuulakkeen kautta purkautuva -8 °C asteen lämpöinen tuloilma on lämmitettävä +21 °C asteiseksi ja sen**

lämmittämiseen tarvittava energia otetaan lämmityspattereista, jolloin niiden lämmitystehoa on nostettava. Eli ensin lämmitetään $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ astetta $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteella. Sen jälkeen lämmitetään $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ astetta $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteeseen.

Rakovehtiilisen ikkunan ja tuloilmaikkunan tapauksissa samasta lähtötilanteesta lämmitetään $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ asteinen ilma sisälämpötilaan $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$ astetta. Tuloilmaikkunassa lämmittäminen tapahtuu kahdessa osassa, ikkunan välitilassa ja huonetilassa. Rakovehtiilisellä ikkunalla sama homma tapahtuu kokonaan huonetiloissa. **Molemmat ottavat kylmän ilman lämmittämiseen tarvittavan energian lämpöpattereista** joten tuloilmaikkunan kohdalla **lämmöntalteenotosta** ja niin sanotusta **tehollisesta U-arvosta** $0,8\ldots 1,0\text{ W/m}^2\text{K}$ puhuminen on sanamuotona väärä. Tässä täytyy muistaa **termodynamiikan peruslaki** eli **energiaa ei synny tyhjästä eikä tyhjästä voi tehdä energiaa.**

Pienempi energian kulutus syntyy Airtech-tuloilmaikkunalla tavalliseen rakovehtiiliseen ikkunaan verrattuna fysiikan lain mukaisesta johtumisesta, konvektiosta ja säteilystä. Johtuminen tapahtuu aineen molekyylien liike-energian siirtymisenä molekyylistä toiseen eli tapahtuu lämmönvirtaamista. Konvektiossa lämpö siirtyy kaasun tai nesteen virtauksen mukana. Säteilyssä lämpö siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä kappaleesta toiseen.

Seuraavassa esitetään rakovehtiin toimintaa kaaviokuvalla havainnollistettuna.

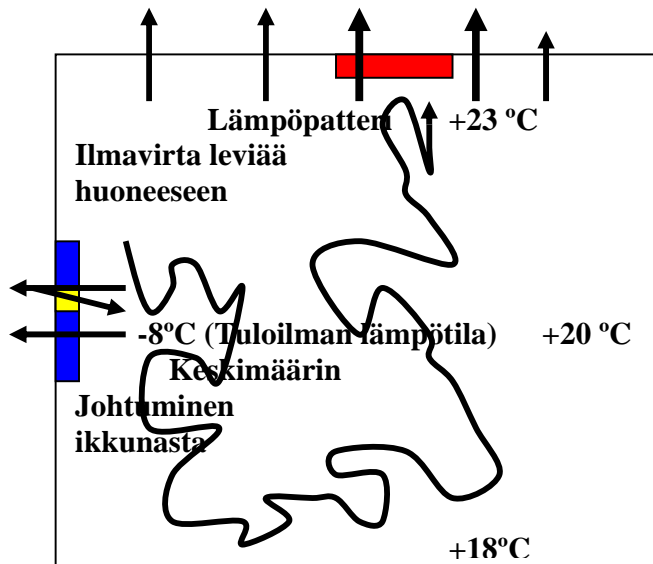


Kuva 42. Normaali-ikkuna, jossa on rakovehti

Normaali-ikkuna, jossa on rakovehti. Huonetila, johon virtaa rakovehtiin kautta -20 °C asteista ilmaa. Kylmä ilma putoaa painavampana alas ja aiheuttaa vedon tunnetta ja viilentää lattiapintaa. Aukkaat tuntevat viileän lattian jalkapohjissaan. Takaseinällä patteri nostaa tehoaan saadakseen huonelämpötilan pysymään +21 °C asteisena. Lämpöpatterin seinustalla lämpötila nousee 26 °C asteeseen ja johtuminen ulos kiihtyy tällä seinän osalla. Samoin johtumista kylmempään päin fysiikan lain mukaan tapahtuu ikkunan kohdalla. Määrä riippuu ikkunan tosiasiallisesta U-arvosta ja ikkunan koosta. Lämmitysenergian kulutus kasvaa.

Airtech-tuloilmaikkuna samoin kuvattuna esitetään alla olevassa kuvassa.

Ulkona -20 °C Johtuminen vähäisempää sisälämpötilasta johtuen.



Kuva 43. Airtech-tuloilmaikkuna

Kuva 43. Airtech-tuloilmaikkunassa ilma levittäytyy ikkunan yläkarmissa sijaitsevan ohjaussuulakkeen kautta ylös- ja viistosti sivulle päin huonetilassa jo esilämminneenä -8 °C asteeseen. Korkeammasta tulolämpötilasta johtuen se sekoittuu huoneilmaan nopeammin ja tuntuu miellyttävämmältä ja vedottomalta verrattuna rakoventtiiliin. Samoin lattia pysyy lämpimämpänä ja huoneilman lämpötila tasaisempana. Kun huoneilman lämpötila on tasaisempi, se pienentää johtumisilmiötä ja lisää asumisviihtyisyyttä.

Airtech-tuloilmaikkuna säästää energiaa rakoventtiliseen ikkunaan verrattuna sen takia, että lämpimän sisäilman johtuminen ulos pakkaseen on pienempi.

Mitä korkeampi lämpötila, sen suurempi johtavuus kylmään päin. Ero rahassa mitattuna tuoteselosteen energiankulutuslaskelmaa käyttäen on vuodessa yhden ikkunan osalta Kajaanissa 7,15 €

Laskentakaavat lämmönjohtavuuden määrittämiseen löytyvät Suomen rakentamismääräyskokoelmasta D4.

Aurinkoenergian hyödyntämisessä kaikki ikkunat ovat siinä mielessä yhdenvertaisia, että kun aurinko lämmittää lasipintoja, niiden lämpötila nousee ja johtuminen ulos pienenee. Näin myös lämpöpattereiden tehon tarve laskee ja energiaa säästyy. Toki tässä on merkitystä käytännön tasolla lasin laadulla, koostumuksella ja koolla. Samoin Airtech-tuloilmaikkuna käyttää kevät- ja syysaurinkoa paremmin hyödyksi tuloilman lämpenemisen muodossa. Rahassa mitattuna vaikutus on minimaalinen.

Laskentakaavat aurinkoenergian määrittämiseen löytyvät Suomen Rakentamismääräyskokoelmasta D5 sivuilta 8-10.

Ihmisiä on monenlaisia

Kun asennetaan ilmanvaihtojärjestelmiä, olipa kyseessä mikä vaihtoehto tahansa, on ensiarvoisen tärkeää muistaa, että käyttäjät eivät useissa tapauksissa ole perillä ilmanvaihdon teknisistä hienouksista eivätkä hienoista termeistä. Käytönopastus on ehdottoman tärkeää. Asennetut järjestelmät menettävät merkityksensä, jos tuloilmaventtiileitä pidetään kiinni, ne ovat verholautojen takana ja poistokoneita pyöritetään hiljaisimmalla nopeudella neliportaisessa järjestelmässä.

Tavallinen tossun kuluttaja tarvitsee selkeät ohjeet, milloin ilmanvaihdon säätönuppia pidetään ykkösellä, kakkosella, kolmosella ja nelosella. Ja paperille painettuna, mieluummin isolla fontilla. Huolto-ohjeet samalla kaavalla, milloin huolletaan, mitä ja miksi huolletaan. Samoin paperille voi laittaa asiakkaan

ymmärtämyksen lisäämiseksi yksinkertaisen selityksen ilmanvaihdon tarkoituksesta kyseisessä talossa.

Samoin ilmanvaihtojärjestelmää myytäessä on asiakastyytyväisyyden lisäämiseksi hyvä kertoa myös niistä tapauksista, joissa kyseinen systeemi ei toimi ja mistä se johtuu. Kyse on useimmiten talon vaipan ilmavuodoista. Tällöin ilma tulee muualta kuin tuloilmaventtiileistä, koska talo on yksinkertaisesti harva rakenteeltaan.

Jos talo on useamman vuosikymmenen ikäinen ja vaipan suhteen ei ole tehty muuta kuin vedetty punamultaa seiniin, kannattaa harkita vaipan tiiviyskoetta ja merkkiainemittauksia. Tosin tällöin edessä saattaa olla isompi remontti. Myös uusissa taloissa esiintyy ilmavuotoja huolimattomasta rakennustavasta johtuen. Ilmanvaihdon toimittaja ei luonnollisesti voi mitään rakennusvaiheessa tehdyille virheille. Tiivis talo parantaa ilmanvaihdon toimivuutta.

Myös koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmään vaikuttaa vaipan ilmavuodot mutta se takaa kuitenkin tuloilman saannin muualtakin kuin vaipan ilmavuodoista, koska tuloilma puhalletaan huoneisiin koneellisesti. Ilmavuodot on otettu mitoitusvaiheessa huomioon laskennallisesti kuten myös muissa järjestelmissä. Tänä päivänä uudisrakennuksiin ei saakaan asentaa muuta ilmanvaihtojärjestelmää kuin lämmöntalteenotolla varustetun koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon.

Myös tuloilmaikkunajärjestelmä antaa riittävän ilmanvaihdon oikein käytettynä, kun talon vaippa on tiivis ja taloon syntyy riittävä alipaine avaamaan tuloilmaventtiilit. Varsinkin remontoitavassa pientalossa, jossa taloon asennetaan uuden ilmanvaihdon lisäksi uudet ikkunat, se on taloudellisesti halvempi ratkaisu kuin koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Samoin monissa taloissa on sellaiset rakenteelliset ratkaisut, että rakenteiden muuttaminen kohottaisi kustannuksia huomattavasti ja olisi joissain tapauksissa jopa mahdotonta. Myös rakoventtiiliin tai seinäventtiiliin verrattuna tuloilmaikkuna on asumisviihtyvyydeltään miellyttävämpi ja hieman energiataloudellisempi vaihtoehto.

11 YHTEENVETO

Ilmanvaihtojärjestelmä omakotitaloon voidaan valita tietenkin pelkästään tuijottamalla kustannuksiin. Laskelmat osoittavat kuitenkin että lämmöntalteenotolla varustetun koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon ja Airtech-tuloilmajärjestelmän välillä ei ole isoja eroja energian kulutuksen, laitekustannusten ja asennustyön osalta. Valinta on tehtävä muilla perusteilla. Muut perusteet saa jokainen päättää itse ja käyttää jopa tätä insinööriyötä virikkeiden antajana.

Sataan pientaloon tehty sisäilmastotutkimus Tampereen teknillisen yliopiston talonrakennustekniikan laboratorion ja Teknillisen korkeakoulun LVI-laboratorion toimesta vuosina 2002–2004 ja **E. Kettusen** tässä insinööriyössä tekemä selvitys vuosina 2005–2006 osoittaa, että eri ilmanvaihtojärjestelmien erot ovat pienet kaikilla osa-alueilla. Parhaimpiin tuloksiin päästiin koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdoilla. Suurin vaikutus energian kulutukseen oli asukkaiden elintavoilla. Samoin talojen ilmanvaihtoon vaikuttivat eniten itse asukkaat koska he pitivät ilmanvaihdon neliportaisessa säätöjärjestelmässä säätöä 1-asennossa suurimman osan aikaa. 1-asento on tarkoitettu minimi ilmanvaihdon ylläpitämiseksi kun asukkaat eivät ole pitempään aikaan kotosalla.

Makuuhuoneiden ilmanvaihtoarvot jäivät selvästi alle tavoite arvojen lähes kaikissa kohteissa. Se antaa selvän suunnan LVI-suunnittelijoille mihin asioihin on parannusta saatava.

Tutkituista taloista viidessätoista prosentissa oli hyvä ilmanvaihto eli ilmanvaihtokerroin oli 0,5 1/h. Näissä taloissa oli ilmanvaihdon säätö asetettu siten, että 0,5 1/h saavutettiin jo säätimen 1-asennolla. Tämä on varteenotettava keino taata riittävä sisäilmanlaatu. Toisaalta talon omistajalla on valinnan vapaus, pitääkö hän ilmanvaihtojärjestelmänsä kiinni vai auki. Hyvä käytönopastus kädestä pitäen lisättynä selkeillä kirjallisilla käyttötapaselostuksilla lienee kuitenkin pehmeämpi vaihtoehto.

Asukaskyselyjen perusteella asukkaat olivat kuitenkin ilmanvaihtojärjestelmiinsä varsin tyytyväisiä huolimatta siitä että ilmanvaihtuvuus oli selvästi alle ohjearvojen.

Suomen rakennusmääräyskokoelman ohjearvot ilmanvaihtokertoimen osalta tuntuvat tämän perusteella ylimitoitetulta omakotitaloissa. Kaipa se asukas itse tietää milloin hänellä on hyvä olla.

Kaikista ilmanvaihtojärjestelmistä löytyy hyvin toimivia kokonaisuuksia kun kaikki asiat sattuvat joskus harvoin kohdalleen. Hyvällä suunnittelulla ja todellisia asiantuntijoita apuna käyttäen tämä on käden ulottuvilla kaikille omakotitalon saneeraajalle tai uudisrakentajalle.

LÄHDELUETTELO

- 1 Sisäilmayhdistyksen raportti 13, 1998
- 2 LVI35-20549/LVI/KH411-20549
- 3 Tuoteselostus, Airtech- tuloilmajärjestelmä, energiankulutus, Tiivituote OY
- 4 Vinha J., Korpi M., Kalamees T., Eskola L., Palonen J., Kurnitski J., Valovirta I., Mikkilä A., Jokisalo J.
Tutkimusraportti 131, 102s, +10 liitesivua. Puurunkoisten pientalojen kosteus- ja lämpöolosuhteet, ilmanvaihto ja ilmatiiviys, Tampereen teknillinen yliopisto talonrakennustekniikka, Teknillinen korkeakoulu LVIS-tekniikan laboratorio, elokuu 2005.
- 5 Suomen rakentamismääräyskokoelma D5